



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Experiencia profesional en el proyecto "Estudio e ingeniería básica de la Presa "Tunal II" para aprovechamiento de agua potable, en el Municipio de Durango, Durango.

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Karina Navarrete Flores

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Moisés Dávila Serrano



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Resumen

Las presas constituyen barreras artificiales en el paso de un río. Esta infraestructura consiste en obras de ingeniería de gran importancia y con distintos usos tales como riego, abastecimiento de agua potable, control de avenidas y producción de energía eléctrica, entre otros usos. Independientemente de su objetivo, para su diseño constructivo se requiere de la combinación de diferentes disciplinas de la ingeniería, principalmente: civil, geológica, geofísica, así como de estudios de mecánica de suelo y rocas. Los fundamentos y conceptos aplicados de estas ramas de la ingeniería son parte substancial para definir la factibilidad de un proyecto de tal magnitud.

Los estudios iniciales de la factibilidad de una presa dependen de la integración de la información obtenida a partir de la exploración de la zona de estudio, esto incluye la identificación del material geológico presente, así como la determinación de sus características físicas y mecánicas, mapeo de estructuras geológicas, además de la realización de pruebas en campo y laboratorio. Es necesaria la integración congruente de la información geológica y geotécnica, ya que a partir de ello se realizará el diseño final de la obra.

En este escrito se describen los trabajos realizados en campo durante la elaboración del proyecto denominado “Estudio de ingeniería básica para la construcción de la Presa El Tunal II para el aprovechamiento de agua potable, en el Municipio de Durango, en el estado de Durango”. Aquí se integran los datos de campo obtenidos mediante el levantamiento geológico, pruebas de permeabilidad y mecánica de rocas (en superficie y en el subsuelo) a partir de los cuales inicialmente se caracterizó geotectónicamente la zona de estudio y posteriormente se elaboró el modelo geológico-geotécnico.

Es fundamental que la interpretación de los datos obtenidos mediante la aplicación de diferentes métodos directos e indirectos sea el adecuado para asegurar que el diseño de la estructura sea confiable y cumpla social y temporalmente su objetivo, ya que ésta brindará un beneficio para la población y cualquier daño en la misma supondría un riesgo para la integridad de las poblaciones aledañas.

Índice

Resumen	ii
----------------------	-----------

Capítulo 1 Introducción y objetivos

Introducción	1
Objetivos.....	2
Objetivo General:.....	2
Objetivos Particulares:.....	2

Capítulo 2 Antecedentes

Ubicación de la zona de estudio	4
Fisiografía	5
Clima	5
Hidrología	6
Geología Regional:.....	7

Capítulo 3 Definición del problema	11
---	-----------

Capítulo 4 Metodología utilizada

Revisión de información existente:	12
Levantamiento Geológico superficial:	12
Sondeos geotécnicos y descripción geológica de núcleo:.....	14
Pruebas de Permeabilidad tipo Lugeon:.....	16
Pruebas de corte directo in situ:	17

Capítulo 5 Resultados

Descripción del levantamiento geológico:.....	21
Depósitos aluviales (Qal) y terrazas aluviales (Qte).....	22
Riolita columnar (Rc).....	24
Riolita Vesicular Superior (Rvs)	25
Riolita vesicular inferior (Rvi).....	26
Tobas (Tbi).....	27
Dacita (Da).....	28
Levantamiento geológico-estructural:.....	28
Margen derecha	29
Margen izquierda	30

Sondeos geotécnicos, descripción geológica de núcleos y pruebas de permeabilidad.	32
.....	32
SR – 14	33
SR – 15	35
SR – 16	37
SR - 17	39
SR - 18	41
Perfil de Absorción.....	44
Pruebas de Corte directo in situ:.....	46
Prueba de corte directo 1:.....	46
Prueba de corte directo 2:.....	47
Prueba de corte directo 3:.....	48
Prueba de corte directo 4:.....	49
Modelo Geomecánico:.....	51
Conclusiones:	54
Recomendaciones.....	55
Bibliografía:	56
Anexos:	57

Lista de tablas

Tabla 4.1. Parámetros a considerar para la obtención de Rock Mass Rating (RMR) ...	13
Tabla 4.2. Sondeos realizados para el proyecto	14
Tabla 4.3. Asignación del grado de intemperismo.	15
Tabla 4.4. Patrón de fracturamiento por metro.....	15
Tabla 4.5. Simbología correspondiente a la inclinación de las fracturas presentes en el macizo.....	15
Tabla 4.6. Resistencia del macizo rocoso.....	16
Tabla 4.7. Clasificación de los tipos de macizos rocosos según su permeabilidad. (Tomada y modificada del libro Ingeniería geológica, González de Vallejo, 2002).	17
Tabla 5.1. Familia de discontinuidades en ambos márgenes del Río El Tunal, notación DipDirection-Dip	29
Tabla 5.2. Fallas localizadas en la zona de estudio por medio del levantamiento geológico.....	30
Tabla 5.3. Registro del Sondeo SR-14.....	34
Tabla 5.4. Registro del Sondeo SR-15.....	36
Tabla 5.5. Registro del Sondeo SR-16.....	38
Tabla 5.6. Registro del Sondeo SR-17.....	40
Tabla 5.7. Registro del Sondeo SR-18.....	42
Tabla 5.8. Resultados de las 18 pruebas realizadas en cada sondeo.	45
Tabla 5.9. Tabla de permeabilidad.....	45
Tabla 5.10. Parámetros de Resistencia y Deformabilidad.....	51

Lista de figuras

Figura 2.1. Perfil topográfico y ubicación de la zona de estudio propuesta para la construcción de la presa de almacenamiento " El Tunal II" y la ruta de acceso al poblado La Ferreria, cercana a la zona de estudio.	4
Figura 2.2. Provincias Fisiográficas que abarca el estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI, 2018).....	5
Figura 2.3. Climatología del estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI, 2018).	6
Figura 2.4. Agua superficial en el estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI, 2018).....	7
Figura 2.6. Columna estratigráfica (Tomada y modificada de la carta Geológico-minera Guadalupe Victoria F13-B11, escala 1:50 000) SGM, 2016.....	10
Figura 4.7. Ensayo Lugeon con obturador simple.	16
Figura 4.8. Procedimiento para llevar a cabo pruebas de corte directo en campo. 18	
Figura 4.9. Labrado de muestra prismática.	19
Al finalizar la prueba se construyen graficas con los valores obtenidos de los desplazamientos con respecto al esfuerzo tangencial aplicado, para cada esfuerzo normal aplicado y a partir de estas elaborar una gráfica de esfuerzo normal vs esfuerzo tangencial.	20
Para este proyecto se ejecutaron 4 pruebas de corte directo, 2 en cada margen. La selección de las muestras se hizo de acuerdo con los dos principales patrones de fracturamiento observados a partir del levantamiento geológico estructural, el primero se trató de un patrón vertical y el segundo de un patrón horizontal, en la Figura 4.10 se aprecia la distribución de las pruebas.	20
Figura 4.10. Localización en planta de pruebas de corte directo (Elaboración propia con datos obtenidos en campo)	20
Figura 5.11. Columna estratigráfica de la zona.	22
Figura 5.12. Depósitos aluviales formados por bloques y cantos rodados subredondeados de roca riolítica.	23
Figura 5.13. Diferentes tamaños de bloques que conforman los depósitos aluviales.	23
Figura 5.14. Riolita Columnar (Rc) en la que se aprecia el sistema de fracturamiento.	24
Figura 5.15. Riolita Vesicular Superior (Rvs), con gran cantidad de vesículas sin conexión entre sí.....	25
Figura 5.16. Vesículas con ligera presencia de relleno de calcita y cuarzo.....	26
Figura 5.17. Riolita vesicular inferior (Rvi) con menos densidad de cavidades.....	27
Figura 5.18. Toba lítica (Tbl) con textura arenosa, compacta y sin fracturas.....	27
de sondeo SR-16 27	
Figura 5.19. Dacita del sondeo SR-17 moderadamente fracturada.....	28
Figura 5.20. Estereograma de discontinuidades registradas en Margen Derecha. 29	
Figura 5.21. Estereograma de discontinuidades observadas en Margen Izquierda.	30
Figura 5.22. Planta geológica de la zona de estudio.....	31

Figura 5.23. Ubicación de los sondeos realizados en planta.....	32
Figura 5.24. Ejecución de trabajos en el sondeo vertical SR-14.....	33
Figura 5.25. Barreno SR-15 ubicado en la margen derecha de la cortina proyectada.....	35
Figura 5.26. Ejecución de trabajos de perforación en el barreno SR-16.....	37
Figura 5.27. Actividades de perforación llevadas a cabo en el sondeo inclinado SR-17 en la zona del cauce del río.....	39
Figura 5.18. Barreno SR-18 inclinado a un costado del cauce del río aproximadamente a 70 m del eje de la cortina.	41
Figura 5.19. Eje longitudinal correspondiente a la cortina.....	43
Figura 5.20. Perfil de absorción de acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas Lugeon en el eje de la cortina.	44
Figura 5.21. Bloque de ensayo para la prueba de corte directo 1 sobre un plano de discontinuidad vertical en Riolita Vesicular Superior.	46
Figura 5.22. Estereograma de la discontinuidad ensayada para la prueba de corte directo 1.	47
Figura 5.23. Bloque de ensayo para la prueba de corte directo 2 en Riolita Vesicular Inferior sobre un plano horizontal.	47
Figura 5.24. Estereograma correspondiente a la discontinuidad ensayada para la prueba de corte directo 2.	48
Figura 5.25. Bloque de ensayo sobre plano vertical en Riolita Vesicular Superior en el que se efectuó la prueba de corte directo 3.	48
Figura 5.26. Estereograma correspondiente a la discontinuidad ensayada en la prueba de corte directo 3	49
Figura 5.27. Bloque de ensayo sobre una discontinuidad horizontal para la prueba de corte directo	49
Figura 5.28. Estereograma de la discontinuidad utilizada para la ejecución de la prueba de corte directo 4.	50
Figura 5.29. Envolturas de resistencia de la prueba de corte directo.....	50
Figura 5.30. Modelo geológico-geotécnico 3D, donde se observa la cortina con su diseño final.	52
Figura 5.31. Representación del salto de falla en modelo tridimensional.	53
Figura 5.32. Zona altamente alterada ubicada a 65 m de profundidad con respecto al nivel del cauce.....	53

Capítulo 1

Introducción y objetivos

Introducción

En el presente trabajo se describen las actividades que desempeñé como pasante de ingeniera geóloga de la UNAM, Facultad de Ingeniería, en el proyecto “Estudio de ingeniería básica para la construcción de la Presa El Tunal II para el aprovechamiento de agua potable, en el Municipio de Durango, en el estado de Durango”. La necesidad de tal proyecto es consecuencia del crecimiento poblacional en la Ciudad de Durango y de la preocupación por las altas concentraciones de arsénico y fluoruros en el acuífero Valle del Guadiana, reservorio que actualmente sirve para el abastecimiento de agua a la población.

La Comisión del Agua del Estado de Durango (CAED) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) propusieron el proyecto y desarrollo de la Presa de almacenamiento El Tunal II. La ubicación sugerida para la construcción de la presa se encuentra aguas arriba de la Presa Guadalupe Victoria (El Tunal), la cual está en constante monitoreo debido a que su capacidad ha sido sobrepasada teniéndose registros de inundaciones en zonas de cultivo. La presa de almacenamiento El Tunal II ayudará valiosamente a mitigar riesgos y al control de avenidas.

La Presa el Tunal II tendrá una capacidad total de 181 480 000 m³, con orientación axial NW 48°, altura de 95 m (a partir del desplante) y longitud de la corona de 278.75 m.

Durante el proyecto en mi estancia profesional, llevé a cabo diferentes actividades, las cuales se enlistan a continuación: logística de viaje, levantamiento geológico, descripción geológica de núcleos, interpretación de pruebas de permeabilidad, realización de planos y ejecución de pruebas de corte directo “*in situ*”. Las determinaciones de estos parámetros permitieron el desarrollo del modelo geomecánico favoreciendo definir la factibilidad técnica del sitio.

La zona de estudio se encuentra enclavada en el sector centro-oriental de la Sierra Madre Occidental, una Provincia Fisiográfica constituida estratigráficamente por rocas del Supergrupo Volcánico Superior (SVS) del Oligoceno y Mioceno. Esta secuencia ígnea consiste en rocas ignimbríticas que a su vez está conformado por una secuencia de tobas de flujos piroclásticos, tobas de caída y lavas de composición silícica a intermedia. En general la roca se encuentra poco fracturada, aunque presenta una baja a media resistencia. Además, se encuentra una zona de alteración en la que la roca se encuentra transformada a arcilla. De igual manera las pruebas de permeabilidad indican que el macizo rocoso es de poco permeable a impermeable.

Simultáneamente y como parte de los estudios de ingeniería para la presa el Tunal II, apoyé en la realización de un modelo tridimensional con el software MIDAS GTS NX, con el fin de analizar el esfuerzo-deformación del sitio y la estructura.

Objetivos

Objetivo General:

Definir la factibilidad geotécnica del sitio propuesto para la construcción de la presa de almacenamiento y control de avenidas “El Tunal II”.

Objetivos Particulares:

- Analizar el contexto geológico regional y correlacionarlo con el mapeo superficial de la zona propuesta para la construcción de la cortina de la presa.
- Definir las unidades litológicas que constituyen la zona de estudio a partir de cinco barrenos con recuperación de núcleos (SR-14, SR-15, SR-16, SR-17 y SR-18) realizados por la empresa en la zona de desplante de la cortina.

- Verificar la presencia de discontinuidades geológicas tanto en superficie como en subsuelo y representarlas en plantas, perfiles y secciones geológicas.
- Interpretar la información obtenida de las pruebas de permeabilidad tipo Lugeon y realizar un perfil donde se muestre el comportamiento del macizo rocoso con respecto a su absorción.
- Determinar las orientaciones de las principales familias de discontinuidades y el comportamiento tanto en las márgenes como en el cauce del Río Tunal para representarlos gráficamente mediante estereogramas.
- Conocer la Resistencia al esfuerzo cortante del macizo rocoso a partir de la realización de pruebas de corte directo en campo.

Capítulo 2

Antecedentes

Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se localiza en el estado de Durango, a 45 minutos del municipio de Durango, al sur-poniente del poblado La Ferrería. Se accede tomando la carretera 115 que va de Durango hacia el poblado conocido como La Flor, donde hay una desviación a la altura del kilómetro 40, es un camino de terracería de aproximadamente 6 km que conduce al área de estudio con coordenadas UTM: 521946 E, 2637419 N, con elevación 1956 msnm (Figura 2.1).



Figura 2.1. Perfil topográfico y ubicación de la zona de estudio propuesta para la construcción de la presa de almacenamiento "El Tunal II" y la ruta de acceso al poblado La Ferrería, cercana a la zona de estudio.

Fisiografía

El estado de Durango comprende fisiográficamente tres grandes provincias, la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central y la Sierra Madre Oriental (Figura 2.2). La zona de estudio se ubica en la margen oriental de la Provincia de la Sierra Madre Occidental. Esta gran provincia magmática presenta una orientación regional noroeste sureste y ocupa el 60% de la superficie estatal. Debido a su orografía, ésta ha sido dividida en 3 subprovincias que, de poniente a oriente, son: Barrancas, Altiplanicie y Llanuras Altas, siendo la primera y tercera las más importantes en cuanto a distribución de yacimientos minerales, gracias a que ha sido en parte erosionada la carpeta de rocas volcánicas ácidas.

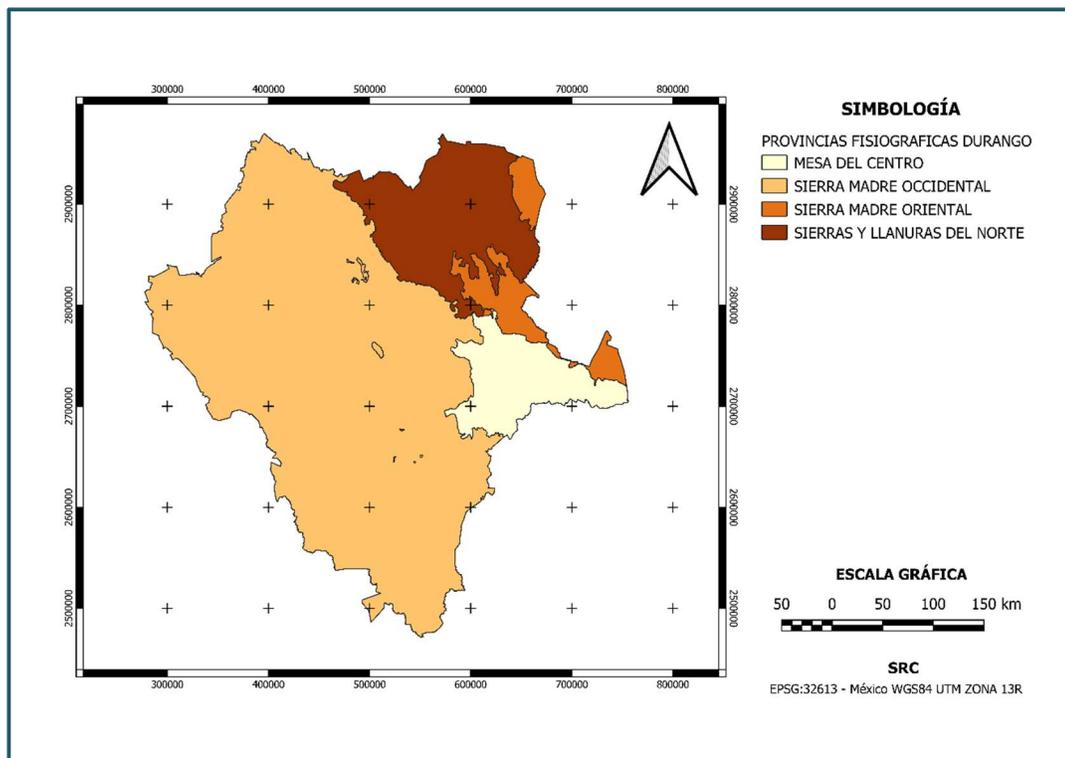


Figura 2.2. Provincias Fisiográficas que abarca el estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI, 2018).

Clima

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la parte alta de la sierra se tiene un clima templado y frío que se vuelve templado y

semiseco en su lado oriental y en gran parte de la porción central del estado, para pasar de semicálido a semiseco al oriente en los valles y seco en el extremo oriental del mismo. De acuerdo con la clasificación de Köppen, el clima que predomina en el estado es semiseco con temperatura media anual de 18° C y una precipitación media de 500 mm. El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano (junio a septiembre), cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos significativas, las cuales son provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan a la región (Figura 2.3).

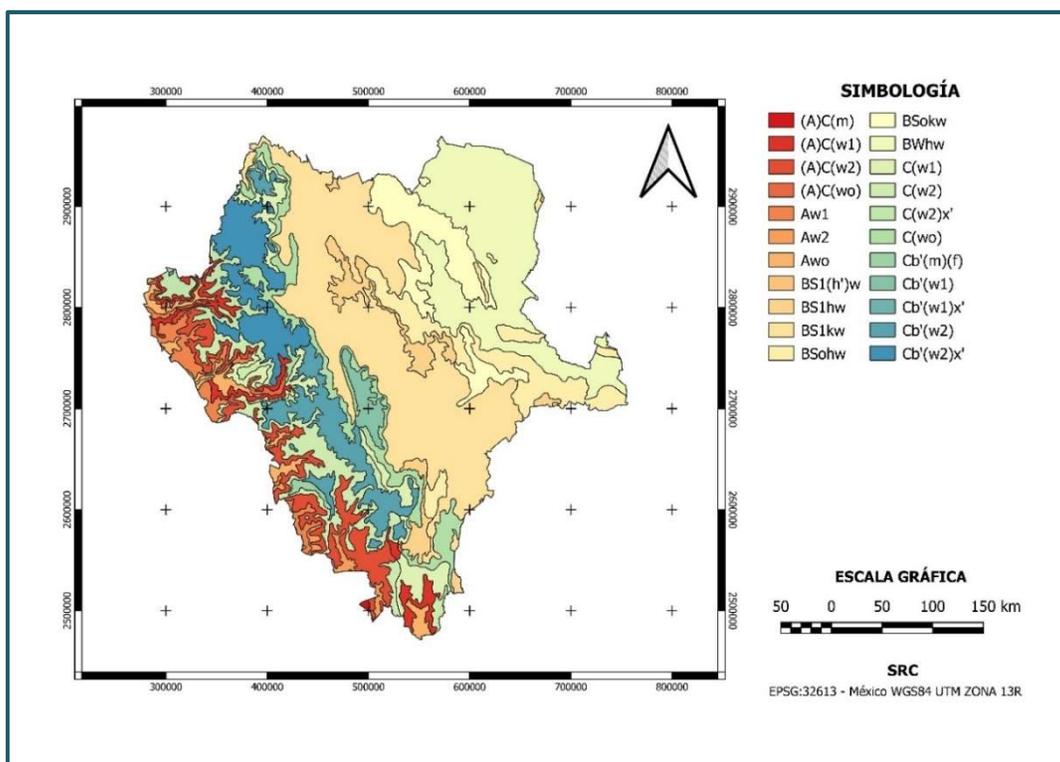


Figura 2.3. Climatología del estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI, 2018).

Hidrología

Los escurrimientos superficiales más importantes que se generan en el estado son a partir de la Sierra Madre Occidental, siendo los del flanco oriental los que benefician a la parte central y noreste del mismo, mientras que los escurrimientos

del flanco poniente benefician al estado de Sinaloa constituyendo la Vertiente del Océano Pacífico. La permeabilidad de las rocas y materiales granulares define las cuencas hidrológicas locales que almacenan el agua subterránea. La zona de estudio se ubica sobre los acuíferos Victoria-Madero y Valle del Guadiana (Figura 2.4) que son de tipo libre, que pertenecen a la Región Hidrológico- Administrativa III Pacífico Norte, los cuales de acuerdo con cifras oficiales se encuentran sobreexplotados.

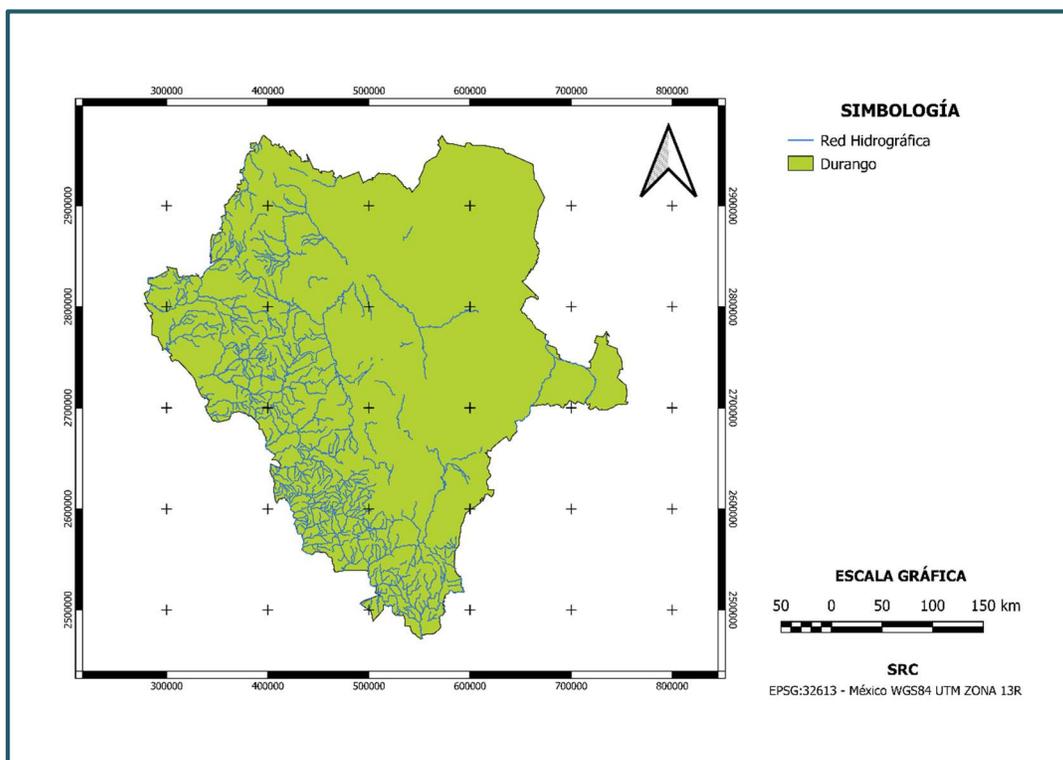


Figura 2.4. Agua superficial en el estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI, 2018).

Geología Regional:

De acuerdo con McDowell y Clabaugh (1979), la Sierra Madre Occidental (SMO) está compuesta por dos importantes secuencias ígneas. La división entre ambas representa un contacto que marca un período de calma volcánica. La

secuencia antigua se ha definido como Complejo Volcánico Inferior (CVI) está formada predominantemente por rocas volcánicas de composición intermedia y cuerpos ígneos cuyas edades varían entre 100 y 45 Ma. La secuencia más reciente se denomina Supergrupo Volcánico Superior (SVS) y está conformada por una potente secuencia de ignimbritas riolíticas, cuya edad varía entre 27 y 34 Ma. El Complejo Volcánico Inferior está relacionado a un margen continental convergente donde la Placa Americana se mueve hacia el sur-suroeste sobre la Placa Farallón. Este patrón de vulcanismo representa la actividad magmática de una Cordillera Pacífica tipo margen continental-arco insular (López Ramos, 1979). Demant y Robin (1975) explican el origen de la ignimbrita como el típico vulcanismo de una zona de rift sobre una zona de arco andesítico, causado por la reacción del continente a los movimientos de subducción e indica la coexistencia de vulcanismo compresivo y distensivo. El vulcanismo continental finaliza con los derrames de basalto del Plioceno.

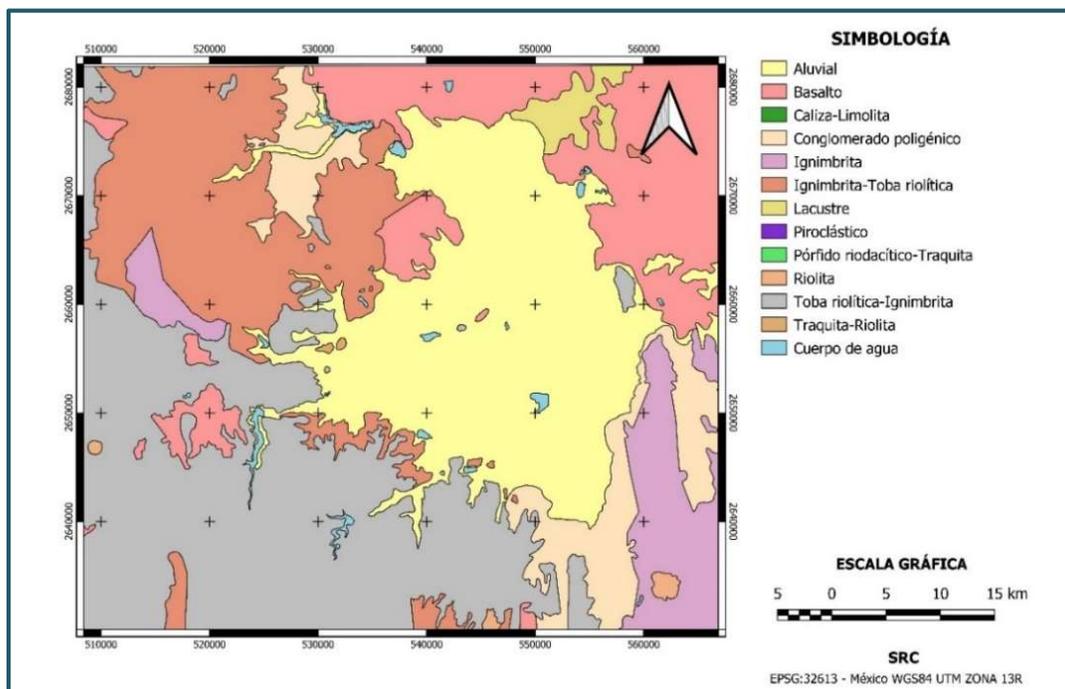
El fallamiento asociado a la tectónica occidental de Cuencas y Sierras (Basin and Range) que comienza a fines del Mioceno (Córdoba y Silva Mora, 1989) genera las estructuras de pilares y fosas tectónicas como resultado de deformaciones distensivas, relacionadas al sistema Golfo de California-San Andrés. En el borde oriental, en Durango, se han desarrollado fallas normales de alto ángulo que definen estructuras tipo Basin and Range del todo similares a las que se encuentran en Chihuahua. La edad de la deformación extensional en esta región se remonta por lo menos al principio del Oligoceno y se caracteriza por un alargamiento general ENE-WSW.

La geología de la SMO está dominada por conjuntos de rocas ígneas asociados a diferentes episodios magmáticos (Figura 2.5), que resultaron de la subducción de la placa Farallón debajo de la Placa Norteamericana, y que de manera general se han clasificado como (Ferrari, 2005):

- Rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Superior- Paleoceno
- Rocas volcánicas andesíticas (Complejo Volcánico Inferior, CVI)

- Ignimbritas silícicas, emplazadas en dos pulsos principales en el Oligoceno temprano y en el Mioceno Temprano (Supergrupo Volcánico Superior, SVS)
- Coladas basáltico-andesíticas extravasadas después del pulso ignimbrítico.
- Coladas de basalto emplazados en la periferia de la SMO en el Mioceno Tardío y Plioceno

El sitio se ubica en un área donde se presentan predominantemente rocas ignimbríticas del Supergrupo Volcánico Superior, el cual está conformado por una potente secuencia de tobas de flujos piroclásticos, tobas de caída y lavas de composición silícica a intermedia, del Oligoceno y Mioceno (Figura 2.6).



. Figura 2.5. Distribución de las unidades geológicas en la parte sur del estado de Durango (Elaboración propia con datos de INEGI y SGM, 2018).

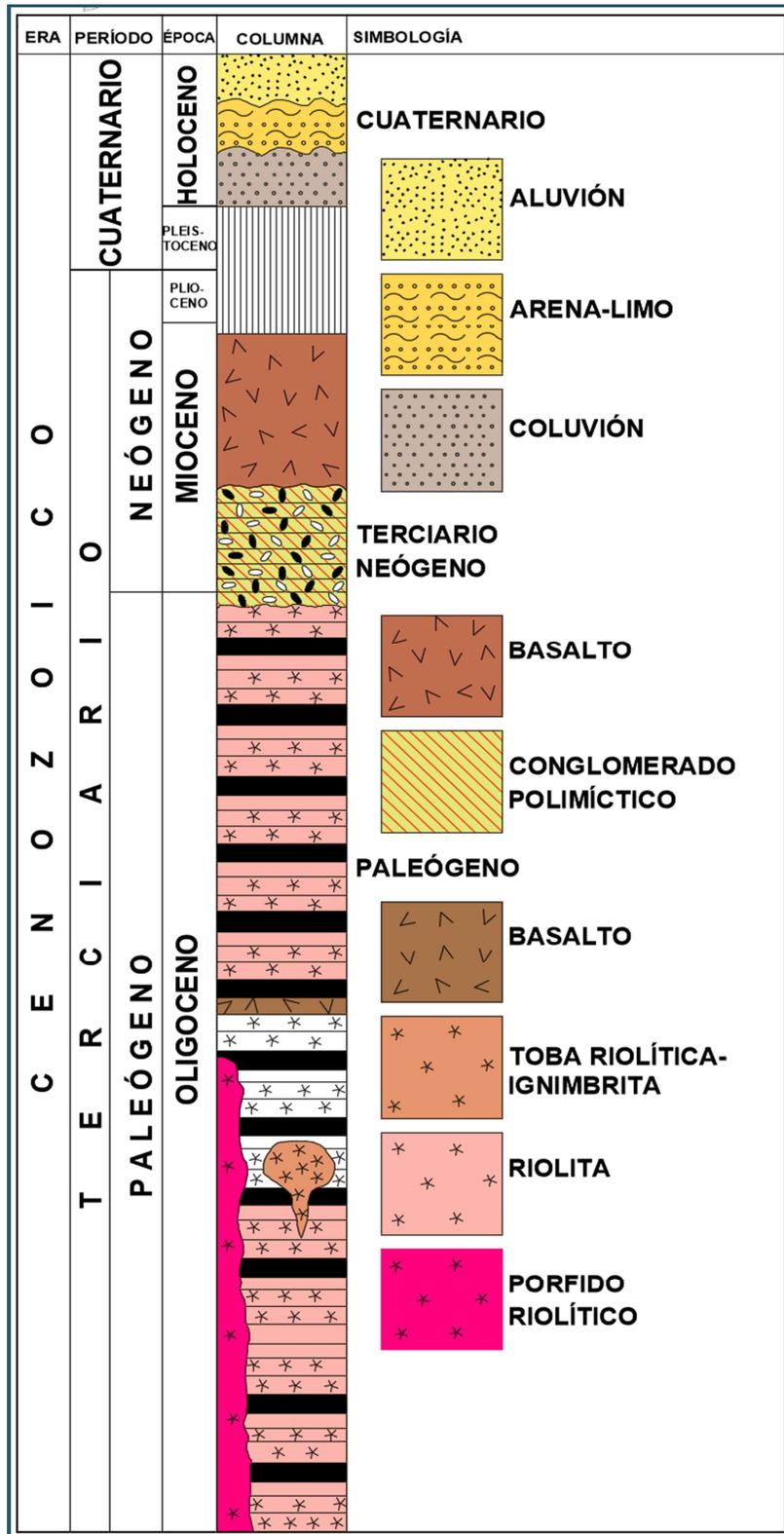


Figura 2.6. Columna estratigráfica (Tomada y modificada de la carta Geológico-minera Guadalupe Victoria F13-B11, escala 1:50 000) SGM, 2016.

Capítulo 3

Definición del problema

Como consecuencia del progresivo incremento regional de la población, la demanda del consumo de agua ha aumentado drásticamente en la Ciudad de Durango. Tal situación ha superado la capacidad de abastecimiento acostumbrado.

Esta ciudad se provisiona hídricamente del acuífero Valle del Guadiana, el cual actualmente se encuentra sobreexplotado, además de que presenta concentraciones de ciertos elementos por encima de lo permitido. En algunos pozos la concentración de arsénico y fluoruros es mayor a la estipulada de acuerdo con la Norma NOM-127-SSA1-1994. Adicionalmente, ha habido ocasiones en que la Presa Guadalupe Victoria ha llegado a su nivel máximo de capacidad, por ello la importancia del desarrollo de una obra hidráulica que permita aprovechar el agua del Río Tunal y controlar riesgosas avenidas.

Las presas de almacenamiento son un claro ejemplo de aprovechamiento de agua superficial, tal es el caso del proyecto de la presa El Tunal II la cual tendrá una capacidad total de 181 480 000 m³, capacidad útil de 111 280 000 m³ y capacidad de azolves de 15 000 000 m³. La altura de la corona a partir del desplante es de 95 m y la longitud de la corona 278.75 m con orientación al NW 48° SE y coordenadas en el Punto Inicial (0+000.00), X = 522 392 34.05, Y = 2 637 868.1657 y Punto Final (0+278.75), X = 522 605.1535, Y = 2 637 684.6563.

Capítulo 4

Metodología utilizada

Con el fin de realizar una exploración adecuada se elaboró un plan de trabajo para proponer una solución al objetivo del proyecto. Por ello se desarrolló una estructura de logística que se desglosa a continuación:

Revisión de información existente:

El proyecto de la presa de almacenamiento El Tunal II ha sido objeto de diversos estudios geológicos y geotécnicos para evaluar la factibilidad del sitio, por lo cual revisé detalladamente la información proporcionada por el cliente, de los estudios anteriores, que consistió principalmente en informes de factibilidad técnica. Se incluyen resultados de los levantamientos geológicos, geofísicos y geotécnicos, tanto de datos obtenidos mediante el levantamiento geológico superficial como por barrenación y pruebas de permeabilidad realizados en la zona del vaso y de la boquilla del sitio de presa. Además, revisé información bibliográfica, que en conjunto con la información mencionada anteriormente sirvió para conocer las condiciones geológicas del sitio.

Levantamiento Geológico superficial:

En campo lo primero que realicé fue ubicar los afloramientos de roca a levantar, con ayuda de GPS (Garmin, ®) tomé las coordenadas del sitio (formato UTM) y fotografía con escala del área seleccionada. Para el reconocimiento geológico esquematicé en un croquis la litología y datos adicionales como lentes, intrusivos, alteraciones, zonas de intemperismo y erosión. Tomé y anoté datos estructurales que predominan en el corte tales como planos de falla y fracturamiento, georreferenciados y enumerados de acuerdo con las familias principales. Para una descripción más detallada seleccioné una muestra de mano para observar la

mineralogía, la cual coloqué en bolsa de muestreo, etiquetada con el nombre de la muestra y los datos del proyecto (Nombre, ubicación, coordenadas y observaciones). Adicionalmente realicé el levantamiento geomecánico tomando parámetros del macizo rocoso (con martillo de geólogo y martillo Schmidt) para la Resistencia a la Compresión Simple (RCS), el RQD (Rock Quality Designation) que es la relación de la suma de los fragmentos de roca mayores a 10 cm entre la longitud total del plano considerado (en corte), la separación y persistencias de las discontinuidades, tipo de relleno en las discontinuidades y determiné la rugosidad con el peine de Barton. Todos estos datos se colocaron en un formato asignado (Tabla 4.1), con el fin de aplicar y obtener la clasificación para macizo rocosos de Bienawski, RMR (Rock Mass Rating).

Tabla 4.1. Parámetros considerados para la obtención de Rock Mass Rating (RMR)

RCS							
(Kg /cm ²)	>2500	2500-1000	1000-500	500-250	250-50	50-10	<10
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
RQD							
(%)	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
Puntuación	20	17	13	6	3		
Separación							
(m)	>2.00	0.6-2.0	0.2-0.6	0.06-0.20	<0.06		
Puntuación	20	15	10	8	5		
Estado de las discontinuidades (familia principal)							
Persistencia (m)	<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	>20		
Puntuación	6	4	2	1	0		
Apertura (mm)	0	<0.10	0.1 a 1.0	1 a 5	>5		
Puntuación	6	5	3	1	0		
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Espejo		
Puntuación	6	5	3	1	0		
Relleno	Sin relleno	Relleno duro		Relleno blando			
		< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm		
Puntuación	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto		
	6	5	3	1	0		
Presencia de agua	Seco	Algo húmedo	Húmedo	Goteo	Fluyendo		
	15	10	7	4	0		
Corrección por orientación de discontinuidades							
Dirección perpendicular al talud				Dirección paralela al talud		Subhorizontal	
Excavación hacia echado		Excavación contra echado					
45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	< 20°	
0	-5	-25	-50	-60	-25	-50	

Sondeos geotécnicos y descripción geológica de núcleo:

Los sondeos geotécnicos se caracterizan por su pequeño diámetro y por su ligereza operativa. Estas pruebas pueden alcanzar una profundidad hasta de 150 m, teniendo la capacidad de penetrar cualquier tipo de material, así como extraer testigos y efectuar ensayos en su interior. Los procedimientos de perforación dependen de la naturaleza del terreno y del tipo de muestreo y testificación que se vaya a realizar. Para este proyecto se realizaron sondeos a rotación. Para complementar el levantamiento geológico superficial en la zona del eje de la cortina, se realizaron ocho sondeos exploratorios con recuperación de núcleos (Diámetro NQ), los cuales se enlistan en la Tabla 4.2, junto con las pruebas ejecutadas en su interior:

Tabla 4.2. Sondeos realizados para el proyecto

Sondeo	Profundidad Final (m)	Ubicación	Pruebas realizadas
SR-14	80	Margen Izquierdo	Lugeon (6)
SR-14'	65	Margen Izquierdo	Downhole
SR-15	130	Margen Derecho	Lugeon (6)
SR-15'	58	Margen Derecho	Downhole
SR-16	96	Cauce del Río	Lugeon (6)
SR-16'	75	Cauce del Río	Downhole
SR-17	80	Cauce del Río	
SR-18	80	Cauce del Río	

A partir de la obtención de núcleos realicé el logueo geológico para registrar la información de manera descriptiva y lo más exacta posible en un formato establecido para el registro de sondeos, anotando las características del material extraído (suelo o roca) especificando el tipo de material, la recuperación y el RQD, el grado de intemperismo (Tabla 4.3) rellenando las casillas correspondientes en un rango de F para roca sana a W_5 descompuesto a suelo, de igual manera se hace un conteo de fracturas por metro y asignándoles un valor de acuerdo a la

cantidad presente en los testigos (Tabla 4.4) , colocando el ángulo preferencial de dichas fracturas (Tabla 4.5) , así como si estas se encuentran selladas por algún material. Además, se colocan los valores obtenidos a partir de la realización de pruebas Lugeon incluyendo un índice de color con respecto a la permeabilidad del macizo (azul = permeable, verde = poco permeable, amarillo = impermeable). Por último, se coloca la resistencia que presentan las muestras, cuando es un material deleznable rellenándose la casilla S1 y S4 para materiales resistentes (Tabla 4.6).

Tabla 4.3. Asignación del grado de intemperismo.

Grado de intemperismo	
F	Sana
W₁	Ligero
W₂	Moderado
W₃	Fuerte
W₄	Completo
W₅	Descompuesto a suelo

Tabla 4.4. Patrón de fracturamiento por metro.

Grado de Fracturamiento	Fracturas por metro	
2	(0-5)	Escasas
4	(5-10)	Moderadas
6	(10-15)	Frecuentes
8	(15-20)	Persistentes
10	(>20)	Muy Persistentes

Tabla 4.5. Simbología correspondiente a la inclinación de las fracturas presentes en el macizo.

Inclinación	
=	Subhorizontal (0- 20°)
<	Inclinado (20°-70°)
	Vertical (70-90°)

Tabla 4.6. Resistencia del macizo rocoso.

Resistencia	
S1	Deleznable
S2	Moderadamente Resistente
S3	Resistente
S4	Muy Resistente

Pruebas de Permeabilidad tipo Lugeon:

Se realizaron en el interior de los sondeos, para, mediante la inyección de agua a presión, conocer semicuantitativamente la permeabilidad del macizo rocoso. El ensayo consiste en introducir agua a presión (hasta 10 kg/cm²) en el sondeo midiendo las admisiones durante un periodo de 10 minutos. Los tramos ensayados tuvieron una longitud de 5 m, aislando el tramo de ensayo con un obturador simple, ya que las pruebas se realizaron conforme avanzaba la perforación del sondeo (Figura 4.7).

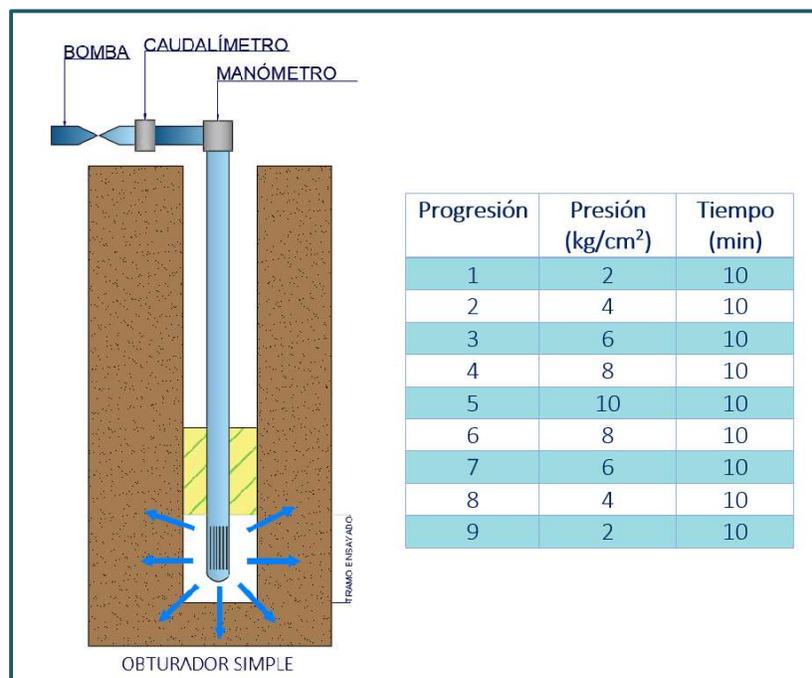


Figura 4.7. Ensayo Lugeon con obturador simple.

La unidad de medida es Lugeon (UL) que corresponde a una absorción de agua de 1 litro por metro de sondeo y por minuto realizado cuando la presión es de 10 kg/cm² en el ensayo y caracterizándose a partir de los valores que se enlistan en la Tabla 4.7. La presión se aplica en escalones o ciclos sucesivos de carga y descarga (2,4,6,8 y 10 kg/cm²) respectivamente, manteniendo la presión durante 10 minutos. En algunos casos se llega al fracturamiento hidráulico y no es posible continuar con el aumento de presión. También se obtuvo el valor correspondiente a la conductividad hidráulica para conocer el flujo de agua a través del macizo rocoso, por lo que se multiplica el resultado de las pruebas en UL por el coeficiente de permeabilidad cuyo valor se consideró como 1.3×10^{-7} y se expresa como una velocidad. Así mismo, a partir de los datos obtenidos de las pruebas elaboré una sección en la que se muestra la absorción que presentó el macizo rocoso.

Tabla 4.7. Clasificación de los tipos de macizos rocosos según su permeabilidad. (Tomada y modificada del libro Ingeniería geológica, González de Vallejo, 2002).

Tipo de macizo	Unidad Lugeon	P (kg/cm ²)
Muy Impermeable	0-1	10
Impermeable	1-3	10
Permeable	>3	10
	1,5,6	5
Muy permeable	>3	10
	>6	3

Pruebas de corte directo in situ:

La resistencia al esfuerzo cortante es una propiedad tanto de la roca intacta como de las juntas o planos de debilidad de los macizos rocosos, depende en gran medida de las propiedades de las discontinuidades que los afectan. La obtención de este parámetro es fundamental en el análisis de estabilidad de taludes y de cimentación de presas, así como para la evaluación del factor de seguridad.

El ensayo de corte directo en campo obedece los mismos principios que las pruebas ejecutadas en laboratorio (Figura 4.2) aunque permite que se aproveche

la heterogeneidad utilizando especímenes de mayor tamaño más representativas del problema. Se realiza mediante dos etapas las cuales son la preparación de la muestra y la ejecución del ensayo, y se describen a continuación junto con la metodología.

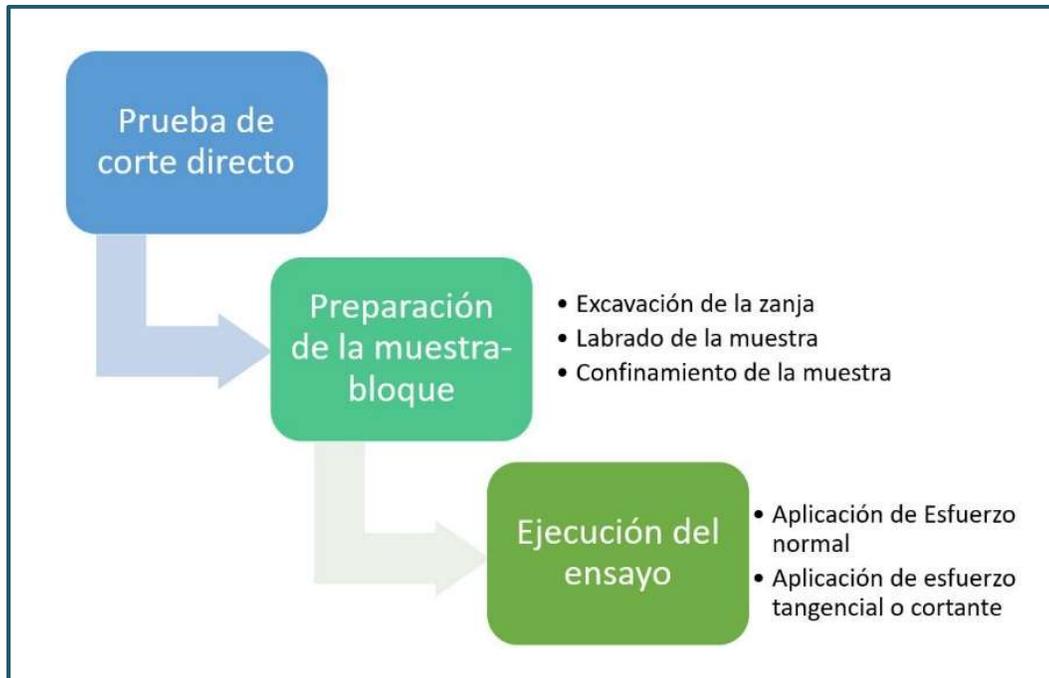


Figura 4.8. Procedimiento para llevar a cabo pruebas de corte directo en campo.

Previo a la ejecución de la prueba se ubicó y se seleccionó una discontinuidad donde se llevó a cabo la prueba. La primera etapa consistió en la preparación de la muestra, para lo que se realizó una zanja en la pared en la que se encuentra la discontinuidad, de modo que permitiera labrar manualmente una muestra prismática con dimensiones de 40X40 cm y una altura de 25 cm (Figura 4.9), la cual se cubrió con una capa de concreto de 3 cm para homogeneizar las caras de la muestra y se garantice la distribución uniforme de las cargas aplicadas a través de una placa de acero.

El equipo está conformado por micrómetros que medirán el desplazamiento, distribuidos a través de un marco metálico que rodea la muestra ya encasquillada.



Figura 4.9. Labrado de muestra prismática.

Una vez que la muestra se encuentra lista, mediante gatos hidráulicos se aplicarán los esfuerzos (Figura 4.10). El esfuerzo normal, se mantendrá constante todo el tiempo que se ejecute la prueba, posteriormente se aplicará el esfuerzo cortante aumentándolo con respecto al tiempo, para este proyecto se definieron incrementos de carga de 0.5 kg/cm^2 cada 30 segundos, se miden los desplazamientos verticales y horizontales que tiene la muestra hasta alcanzar la Resistencia máxima.

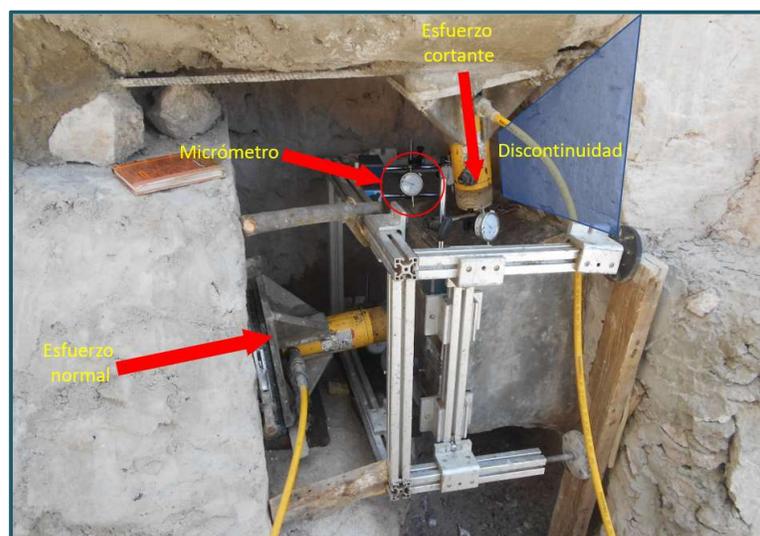


Figura 4.10. Equipo para la ejecución de la prueba.

Al finalizar la prueba se construyen graficas con los valores obtenidos de los desplazamientos con respecto al esfuerzo tangencial aplicado, para cada esfuerzo normal aplicado y a partir de estas elaborar una gráfica de esfuerzo normal vs esfuerzo tangencial.

Para este proyecto se ejecutaron 4 pruebas de corte directo, 2 en cada margen. La selección de las muestras se hizo de acuerdo con los dos principales patrones de fracturamiento observados a partir del levantamiento geológico estructural, el primero se trató de un patrón vertical y el segundo de un patrón horizontal, en la Figura 4.10 se aprecia la distribución de las pruebas.

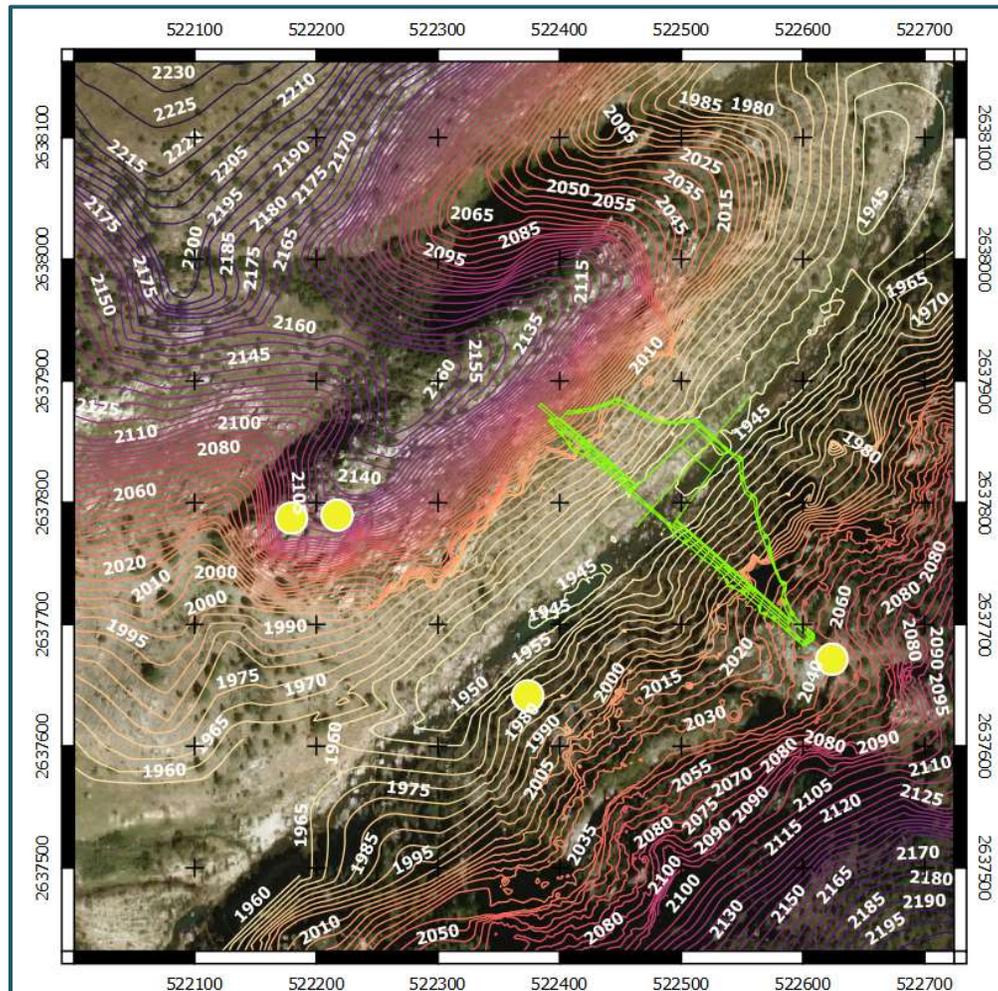


Figura 4.9. Localización en planta de pruebas de corte directo (Elaboración propia con datos obtenidos en campo)

Capítulo 5

Resultados

Descripción del levantamiento geológico:

La zona de estudio presenta rocas expuestas las cuales fueron evaluadas y descritas, de acuerdo con el levantamiento superficial y a las unidades que se observaron en los núcleos de perforación. La secuencia de rocas volcánicas en la zona de la cortina se diferencia texturalmente ya que por origen pertenecen a un solo tipo de roca, ígnea volcánica, que presenta una composición ácida o félsica (alto contenido de sílice), formada a partir de erupciones explosivas a temperaturas que superan los 700°C. La roca se encuentra conformada en su mayoría por feldespato, plagioclasa y altas concentraciones de cuarzo, con pequeñas cantidades de minerales máficos como biotita.

Las rocas volcánicas de la zona de la cortina se agruparon en las siguientes seis unidades litoestratigráficas (Figura 5.1):

- ❖ Depósitos aluviales (Qal) y terrazas aluviales (Qte)
- ❖ Riolita columnar (Rc)
- ❖ Riolita vesicular superior (Rvs)
- ❖ Riolita vesicular inferior (Rvi)
- ❖ Tobas (Tbl)
- ❖ Dacita (Da)

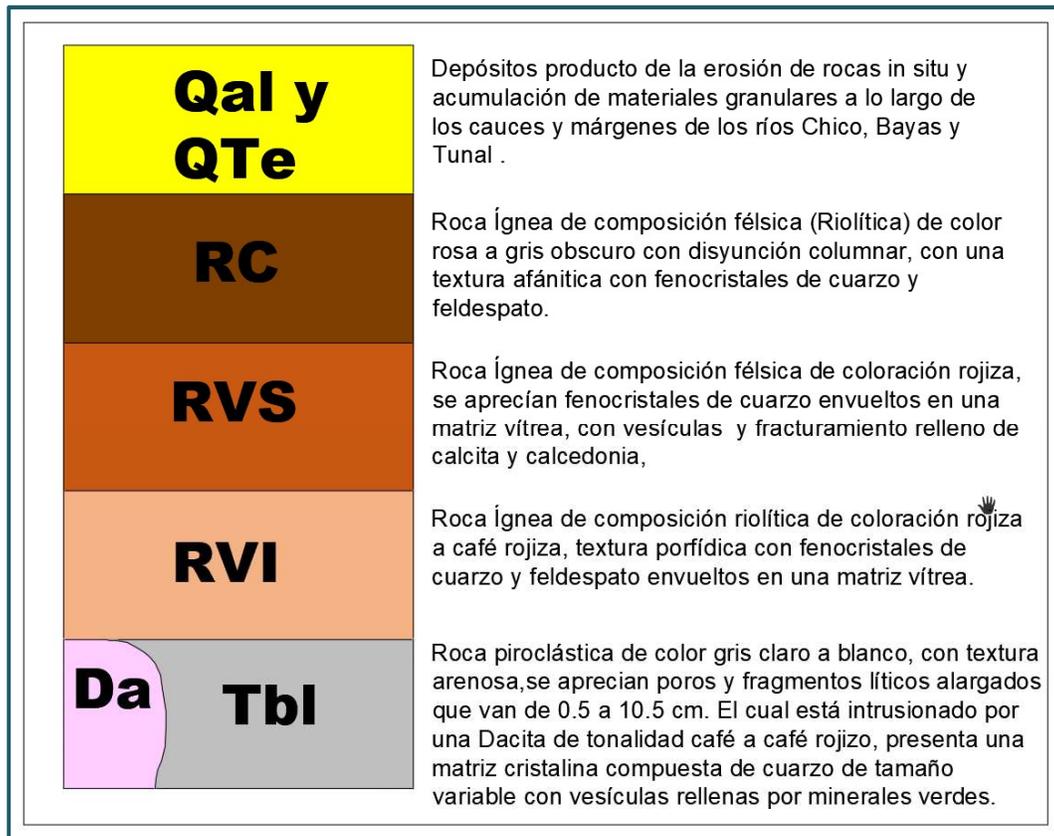


Figura 5.10. Columna estratigráfica de la zona.

En ambos márgenes del eje de la cortina, el macizo rocoso está conformado por riolitas con ligero grado de oxidación con zonas aisladas que se encuentran alteradas a arcillas. También se describen los rasgos estructurales tomados en ambos márgenes, mismos que se dividen en diferentes familias, proyectadas estereográficamente para conocer más sobre los esfuerzos que las originaron.

Depósitos aluviales (Qal) y terrazas aluviales (Qte)

Los depósitos sedimentarios son producto de la erosión de rocas *in situ* durante el Cuaternario y la acumulación de materiales granulares a lo largo de los cauces y márgenes de los ríos Chico, Bayas y El Tunal. Estos materiales tienen diferentes espesores a lo largo y ancho de los cauces principales. Los depósitos aluviales están formados por materiales granulares de rocas volcánicas como cantos rodados, gravas, arenas de finas a gruesas en menor proporción. En las terrazas

aluviales cercanas a la zona de la cortina se estima un espesor variable de entre 3 a 5 m. Predominan arenas con granulometrías gruesas, medias y finas (Figura 5.2). Las terrazas aluviales se desarrollan especialmente en las márgenes de valles fluviales y representados por niveles bien estratificados, compuestos por detritos mal clasificados cuya granulometría, varía desde gravas y cantos a granos finos de arena, limos y arcillas (Figura 5.3). Ambos depósitos sedimentarios cubren de forma discordante a rocas volcánicas, se presentan a lo largo de los cauces de los principales ríos, con anchos variables desde 50 hasta 100 m de ancho.

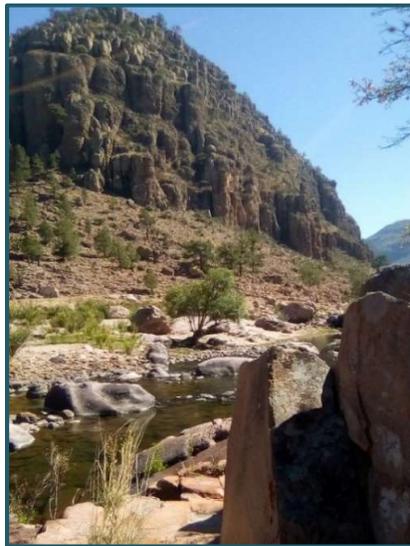


Figura 5.11. Depósitos aluviales formados por bloques y cantos rodados subredondeados de roca riolítica.



Figura 5.12. Diferentes tamaños de bloques que conforman los depósitos aluviales.

Riolita columnar (Rc)

Afloramiento de roca ígnea de composición félsica clasificada como riolita de color rosa a gris oscuro. Por su proceso de enfriamiento rápido y en superficie presenta una forma de diaclasamiento por tensión dando origen a disyunción columnar la cual le da el nombre característico. Esta unidad se presenta en las partes altas de la zona de la cortina (Figura 5.4), por encima de la elevación del Nivel de aguas máximas extraordinario (NAME). De tal manera que no se presentará dentro del eje de la cortina. Se describe como roca ígnea de color rosa a gris al fresco y pardo rojizo a la intemperie, matriz vítrea, con textura afanítica con motas de color blanco a pardo oscura en la que se aprecian fenocristales de cuarzo y feldespato en menos proporción plagioclasas en algunas zonas se tiene alteración argílica, así como minerales opacos, posibles piroxenos. Se encuentra ligeramente alterada, dura y afectada por tres sistemas de fracturamiento verticales $120^{\circ}/72^{\circ}$ (notación dip direction-dip) y una subhorizontal ($300^{\circ}/4^{\circ}$) que delimitan los bloques columnares característicos de esta unidad.

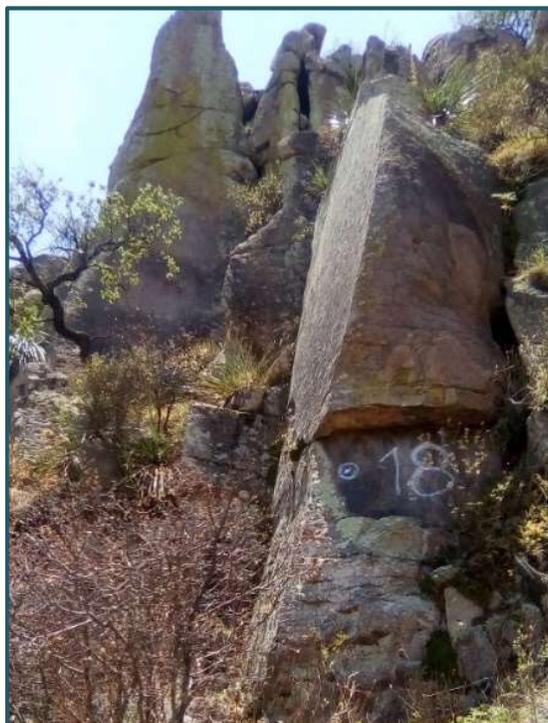


Figura 5.13. Riolita Columnar (Rc) en la que se aprecia el sistema de fracturamiento.

Riolita Vesicular Superior (Rvs)

Esta unidad se conforma por roca volcánica de composición félsica que de acuerdo con sus rasgos mineralógicos y texturales se clasifica como una riolita. Por composición y densidad de vesículas, forma parte de una subdivisión en la zona de la cortina, por su origen se sabe que la textura vesicular se presenta sobre todo en la parte superior de los derrames de lava, los huecos o vesículas son producto del gas volcánico al ser expulsados de la lava (Figura 5.5)

Se describe como una roca con una tonalidad gris rosáceo en roca sana, con una matriz vítrea compuesta por fenocristales de cuarzo y feldespatos. Estos últimos desarrollan ligera alteración argílica y también vesículas que consisten en huecos alargados y sub-horizontales, con tamaños de 5 a 15 cm de largo y 3 a 8 cm de alto, ocasionalmente rellenos de calcita, las vesículas no presentan conexión entre ellas (Figura 5.6). Estructuralmente la unidad se encuentra afectada por dos sistemas de fracturamiento con dirección NE-SW y NW-SE.

El contacto entre esta unidad y la Riolita Columnar que es la unidad que la sobreyace se encuentra aproximadamente de la elevación 2080 al 2100 msnm y es un contacto concordante ligeramente inclinado hacia el norte, y en la parte inferior se encuentra el contacto a la elevación 1991 a 2010 m con un espesor aproximado de 90 m.



Figura 5.14. Riolita Vesicular Superior (Rvs), con gran cantidad de vesículas sin conexión entre sí.



Figura 5.15. Vesículas con ligera presencia de relleno de calcita y cuarzo.

Riolita vesicular inferior (Rvi)

La unidad se describe como una roca ígnea volcánica de composición félsica clasificada como riolita, la cual a comparación del miembro superior cuenta con una menor cantidad de vesículas y estas tienen menor tamaño a comparación de las que se encuentran en la Rvs. Esta unidad se conforma por una unidad de roca volcánica de composición riolítica, con una tonalidad rosa grisácea en roca sana y con matriz vítrea porfídica compuesta principalmente por cuarzo y feldespatos (Figura 5.7).

Esta unidad litológica presenta texturalmente menor densidad de vesículas, no se encuentran interconectadas, su distribución en la zona de la cortina se encuentra por debajo del embalse y hasta la elevación del cauce se aprecia superficialmente esta unidad. Dentro de la información obtenida de los sondeos exploratorios se estima que esta unidad tiene un espesor que va desde 44 m a 119 m.



Figura 5.16. Riolita vesicular inferior (Rvi) con menos densidad de cavidades.

Tobas (Tbi)

Las tobas superficialmente en la zona de la cortina no afloran, sin embargo, se menciona esta unidad debido a que en los sondeos realizados por Rocher Ingeniería se tiene recuperación de núcleos con esta litología (Figura 5.8). Se encuentra debajo de la unidad de Riolita Vesicular Inferior y sobre la unidad de Dacita.

Se trata de una roca volcanoclástica clasificada como toba lítica debido a su contenido de líticos la cual cuenta con una textura clástica causada por procesos volcánicos, compuesto principalmente por cenizas del tamaño de arena compuesta principalmente de cuarzo y líticos de tamaño que van de grava a arena gruesa. Debido a los alcances de los sondeos la distribución en el subsuelo se desconoce.



Figura 5.17. Toba lítica (Tbi) con textura arenosa, compacta y sin fracturas de sondeo SR-16

Dacita (Da)

Esta unidad se encontró solo en los barrenos SR-17 y SR-18 en las elevaciones de 1895 y en 1998 msnm respectivamente. En análisis de núcleo se clasificó como una roca volcánica de composición intermedia tipo Dacita. Consiste en una litología de color ocre al fresco, con abundantes motas de color blanco y algunas menos abundantes de colores oscuros, con textura porfídica, constituida por una matriz cristalina-vítrea con minerales opacos, se encuentra sana, dura y poco fracturada (Figura 5.9).



Figura 5.18. Dacita del sondeo SR-17 moderadamente fracturada.

Levantamiento geológico-estructural:

Las principales estructuras de fallas cercanas al eje de la cortina muestran orientaciones con rumbos preferentes NE–SW, en menor medida NW–SE originadas por procesos tectónicos distensivos, como se puede confirmar con estudios realizados en relación con el marco geodinámico regional del proceso de formación de la zona sur de la Sierra Madre Occidental.

En la Tabla 5.1 se muestra el sistema preferencial de fracturamiento en la zona de la cortina y alrededores de la margen derecha y margen izquierda del Río El Tunal.

Tabla 5.1. Familia de discontinuidade en ambas márgenes del Río El Tunal, notación DipDirection-Dip

MARGEN DERECHA		MARGEN IZQUIERDA	
J1	11/81	J1	22/82
J2	95/84	J2	75/83
J3	169/74	J3	165/78
J4	205/75	J4 <td 219/64	
J5	310/9	J5	341/7
J6	295/79	J6	288/76

Los datos estructurales que se presentan en ambas márgenes del río son muy similares en direcciones de rumbo. En los siguientes estereogramas se muestra la densidad de datos graficados, así como las familias de fracturamiento de la zona.

Margen derecha

En esta margen aflora roca riolítica de textura vesicular. La línea en color negro representa el eje proyectado de la cortina, donde la orientación preferencial de las familias de fracturas es hacia el NW y NE clasificándose en 6 grupos mismos que con ayuda del programa DIPS grafiqué, como se observa en la Figura 5.10.

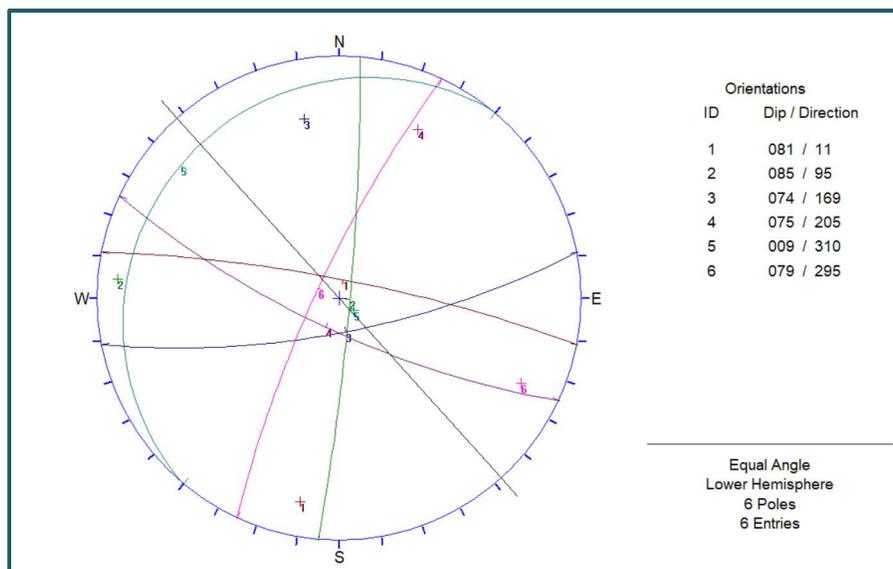


Figura 5.19. Estereograma de discontinuidades registradas en Margen Derecha.

Margen izquierda

En esta margen afloran rocas riolíticas de textura vesicular, las tendencias de fracturamiento son preferenciales al NW y en menor medida al NE (Figura 5.11)

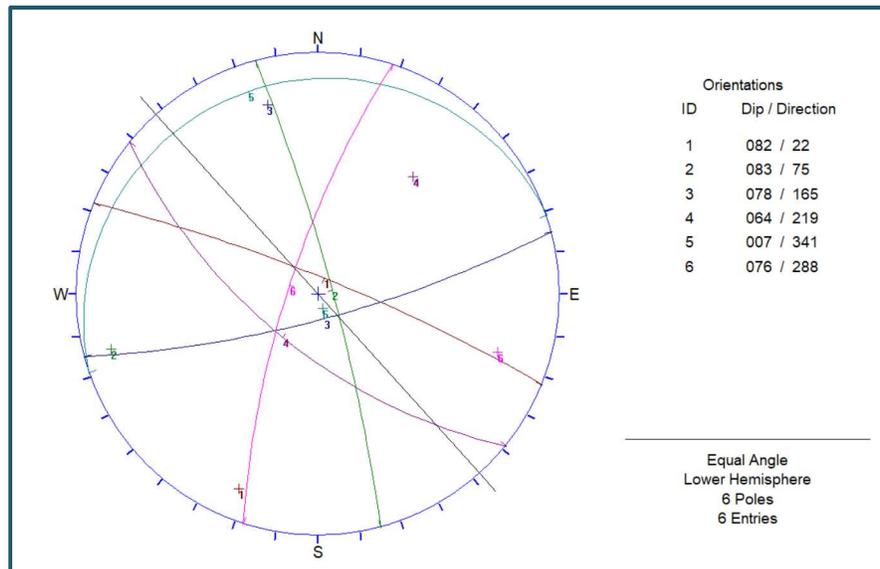


Figura 5.20. Estereograma de discontinuidades observadas en Margen Izquierda.

Al separar el conjunto de fracturas por márgenes y realizar la estadística, se determinó que la frecuencia del sistema F1 es similar en ambas márgenes, $34^{\circ}/82^{\circ}$ en margen izquierda y $11^{\circ}/81^{\circ}$ en margen derecha. El sistema F2 se comporta de forma análoga en ambas márgenes solo que, en forma opuesta al primer sistema, $288^{\circ}/76^{\circ}$ en margen izquierda y $295^{\circ}/79^{\circ}$ en margen derecha. Se observó de igual manera la presencia de fallas normales locales con rumbos preferenciales NE-SW y NW-SE, las cuales se enlistan en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2. Fallas localizadas en la zona de estudio por medio del levantamiento geológico.

FALLA	DATO ESTRUCTURAL (RE/E)	COORDENADAS	
		X	Y
F-A	$44^{\circ}/75^{\circ}$	522478.114	2637793.15
F-B	$133^{\circ}/80^{\circ}$	522472.748	2637736
F-C	$128^{\circ}/80^{\circ}$	522593.44	2637851.9
F-D	$90^{\circ}/80^{\circ}$	532123.375	2637711.81
Fv-3	$40^{\circ}/80^{\circ}$	522284.518	2637962.47
Falla del cauce	$49^{\circ}/74^{\circ}$	522484.755	2637787.34

Las discontinuidades locales descritas anteriormente muestran patrones similares a las estructuras y lineamientos regionales documentadas en referencias. Estas mantienen direcciones de rumbo NW-SE generados a principios del Oligoceno (Ferrari *et al*,2002) y el sistema NE-SW asociadas a un segundo pulso distensivo durante el Mioceno Temprano. En consecuencia, del marco regional estudiado, ambos sistemas estructurales son ligados a la Orogenia Basin and Range mexicano, un proceso de carácter continental. La ubicación de la zona de la cortina cae dentro de este marco tectónico y no se encuentran indicios de grandes movimientos ni reacomodos de bloques recientes, ya que los posibles esfuerzos generados por tectonismo no alcanzan a afectar la zona de estudio.

Como resultado del levantamiento geológico colaboré en la proyección del mapeo de las unidades observadas en campo y las cuales fueron plasmadas en una planta geológica (Figura 5.12). La roca que aflora en la superficie es de composición riolítica que para fines de proyecto se dividió en unidades diferenciadas de acuerdo con las variaciones texturales observadas en campo.

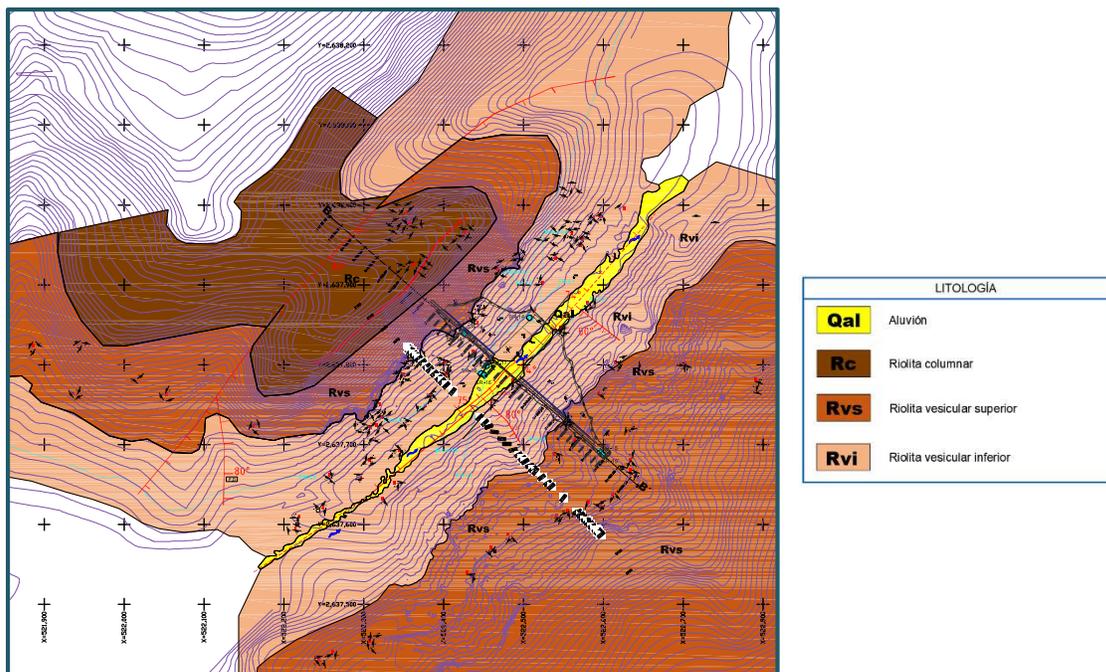


Figura 5.21.Planta geológica de la zona de estudio.

Sondeos geotécnicos, descripción geológica de núcleos y pruebas de permeabilidad.

Se realizaron 5 sondeos que permitieron generar, a partir de la descripción de los núcleos recuperados, varios perfiles del subsuelo del sitio estudiado. La distribución de los sondeos se muestra en la Figura 5.13. El objetivo de los sondeos es comprobar la existencia de las estructuras geológicas identificadas con el levantamiento superficial y de las campañas de exploración anteriores, así como para reconocer y determinar parámetros o características de las unidades geológicas (RQD, permeabilidad, resistencia). A continuación, se realiza una descripción de los resultados de la barrenación.

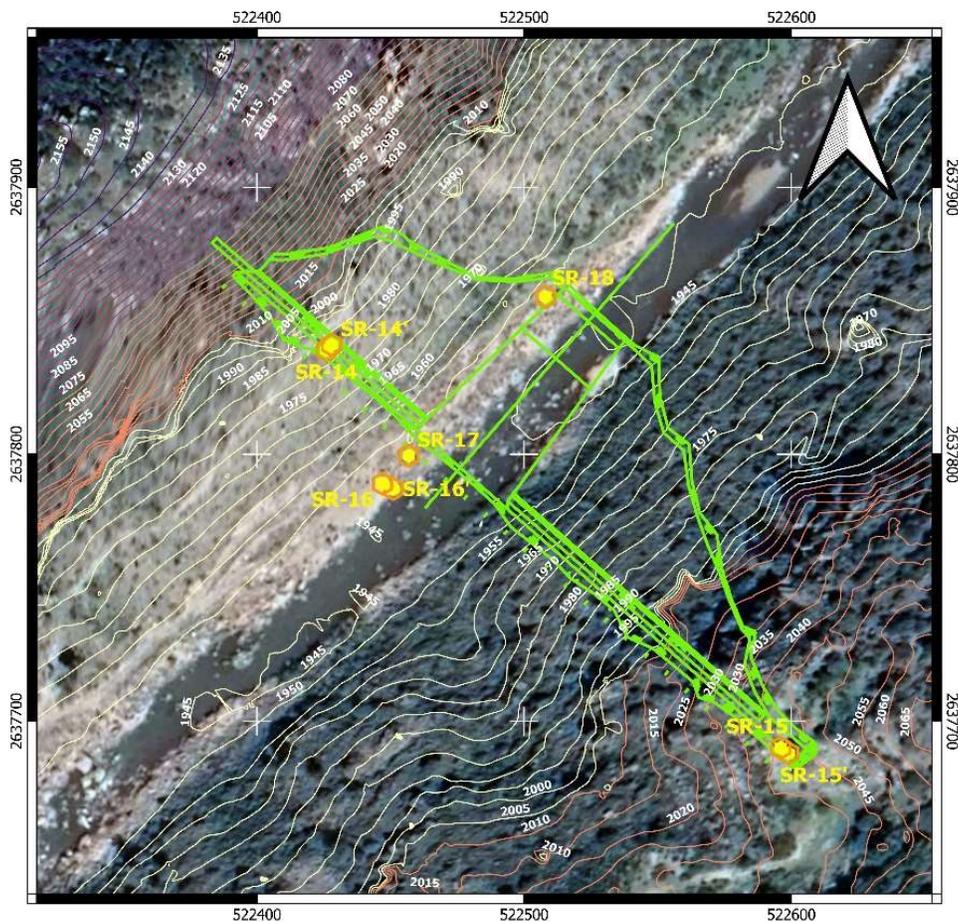


Figura 5.22. Ubicación de los sondeos realizados en planta.

SR – 14

Ubicado en la margen izquierda sobre el eje de la cortina con una profundidad de 80 m, se colocaron 3 m de ademe al principio del sondeo (Figura 5.14). Recuperando en su totalidad Riolita vesicular inferior (Rvi). La información del porcentaje de recuperación e índice de calidad de roca (RQD) obtenidos en este sondeo se muestran en la Tabla 10. Se observa que el sondeo tuvo en general recuperaciones muy buenas y recobrando en la mayoría de los tramos el 100% de la roca. En la Tabla 5.3 se observa que en los primeros dos metros se recuperaron fragmentos de depósitos recientes. A profundidades mayores a dos metros la calidad de la roca es de excelente calidad en la mayoría de los tramos perforados, a excepción de 2 tramos, de 63 a 66 m y de 78 a 80 m donde la roca es de buena calidad geomecánica.

Con respecto a las 6 pruebas de permeabilidad realizadas en el interior del barreno, los resultados en 5 de las pruebas indican que el macizo rocoso es impermeable a excepción del tramo de 55 a 60 m donde se caracterizó el tramo como poco permeable.



Figura 5.23. Ejecución de trabajos en el sondeo vertical SR-14

Tabla 5.3. Registro del Sondeo SR-14.

PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD DE MU ESTRA RECUPERADA		LONGITUD DE MUESTRAS >10 cm	CALIDAD RQD		UNIDAD LITO ESTRATI-GRÁFICA
DE	A	(m)	(m)	(%)		%	RQD	
0.00	0.60	0.60	0.30	50.00	0.00	0.0	No aplica	Qte
0.60	2.00	1.40	1.00	71.43	0.40	28.6	No aplica	Qal
2.00	3.00	1.00	1.00	100.00	0.93	93.0	Excelente	Rvi
3.00	6.00	3.00	3.00	100.00	2.90	96.7	Excelente	Rvi
6.00	9.00	3.00	3.00	100.00	2.95	98.3	Excelente	Rvi
9.00	12.00	3.00	3.00	96.67	2.85	95.0	Excelente	Rvi
12.00	15.00	3.00	3.00	100.00	2.94	98.0	Excelente	Rvi
15.00	18.00	3.00	3.00	100.00	2.75	91.7	Excelente	Rvi
18.00	21.00	3.00	3.00	100.00	2.80	93.3	Excelente	Rvi
21.00	24.00	3.00	3.00	100.00	2.96	98.7	Excelente	Rvi
24.00	27.00	3.00	3.00	100.00	2.99	99.7	Excelente	Rvi
27.00	30.00	3.00	3.00	100.00	2.96	98.7	Excelente	Rvi
30.00	33.00	3.00	3.00	100.00	3.00	100	Excelente	Rvi
33.00	36.00	3.00	3.00	100.00	3.00	100	Excelente	Rvi
36.00	39.00	3.00	3.00	100.00	2.96	98.7	Excelente	Rvi
39.00	42.00	3.00	3.00	100.00	2.98	99.3	Excelente	Rvi
42.00	45.00	3.00	3.00	100.00	2.97	99.0	Excelente	Rvi
45.00	48.00	3.00	3.00	100.00	2.98	99.3	Excelente	Rvi
48.00	51.00	3.00	3.00	100.00	2.90	96.7	Excelente	Rvi
51.00	54.00	3.00	3.00	100.00	2.88	96.0	Excelente	Rvi
54.00	57.00	3.00	3.00	100.00	2.98	99.3	Excelente	Rvi
57.00	60.00	3.00	3.00	100.00	2.95	98.3	Excelente	Rvi
60.00	63.00	3.00	3.00	100.00	2.82	94.0	Excelente	Rvi
63.00	66.00	3.00	3.00	100.00	2.50	83.3	Buena	Rvi
66.00	69.00	3.00	3.00	100.00	2.91	97.0	Excelente	Rvi
69.00	72.00	3.00	3.00	100.00	2.73	91.0	Excelente	Rvi
72.00	75.00	3.00	3.00	100.00	2.95	98.3	Excelente	Rvi
75.00	78.00	3.00	3.00	100.00	2.93	97.7	Excelente	Rvi
78.00	80.00	2.00	2.00	100.00	1.95	97.5	Buena	Rvi

SR – 15

Ubicado en la margen derecha sobre el eje de la cortina con una profundidad de 130 m (Figura 5.15), corte en roca volcánica, caracterizada como Riolita vesicular superior de 0 m a 33 m y como Riolita vesicular inferior en el intervalo de 33 hasta los 130 m. De acuerdo con la información del porcentaje de recuperación e índice de calidad de roca (RQD) obtenidos (Tabla 5.4) en los primeros 12 m del sondeo se obtuvo una roca de muy mala calidad, la cual conforme aumenta la profundidad mejoró siendo en los primeros tramos de mala a regular calidad, en los tramos consecutivos se observó que la roca presenta una mejor calidad alternándose entre tramos de buena y excelente calidad. De acuerdo a los resultados obtenidos mediante 5 pruebas Lugeon el macizo rocoso es poco permeable en los tramos muestreados de 15-20 m y 55-60 m. En dichos tramos la roca presentó una calidad regular. En los demás tramos muestreados en donde la roca presentó excelente calidad, esta es impermeable.



Figura 5.24. Barreno SR-15 ubicado en la margen derecha de la cortina proyectada.

Tabla 5.4. Registro del Sondeo SR-15.

PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD DE MUESTRA		LONGITUD DE MUESTRAS >10 cm	CALIDAD RQD		UNIDAD LITOESTRATI-GRÁFICA
DE	A	(m)	(m)	(%)		%	RQD	
0.00	3.00	3.00	2.15	71.67	1.18	39.3	Mala	Rvs
3.00	6.00	3.00	2.32	77.33	1.10	36.7	Mala	Rvs
6.00	9.00	3.00	2.93	97.67	0.70	23.3	Muy mala	Rvs
9.00	12.10	3.10	3.00	96.77	0.50	16.1	Muy mala	Rvs
12.10	15.20	3.10	2.93	94.52	1.44	46.5	Mala	Rvs
15.20	18.20	3.00	2.93	97.67	1.53	51.0	Regular	Rvs
18.20	21.20	3.00	2.98	99.33	2.12	70.7	Regular	Rvs
21.20	24.20	3.00	2.60	86.67	1.30	43.3	Mala	Rvs
24.20	27.20	3.00	2.92	97.33	1.65	55.0	Regular	Rvs
27.20	30.20	3.00	2.94	98.00	1.74	58.0	Regular	Rvs
30.20	33.20	3.00	3.00	100.00	2.28	76.0	Buena	Rvs
33.20	36.20	3.00	2.98	99.33	2.30	76.7	Buena	Rvi
36.20	39.25	3.05	3.05	100.00	2.28	74.8	Regular	Rvi
39.25	42.30	3.05	3.05	100.00	2.57	84.3	Buena	Rvi
42.30	45.35	3.05	3.05	100.00	2.64	86.6	Buena	Rvi
45.35	48.40	3.05	3.05	100.00	2.82	92.5	Excelente	Rvi
48.40	51.45	3.05	3.05	100.00	2.85	93.4	Excelente	Rvi
51.45	54.45	3.00	2.50	83.33	1.58	52.7	Regular	Rvi
54.45	57.45	3.00	0.73	24.33	0.00	0.0	Muy mala	Rvi
57.45	59.00	1.55	0.82	52.90	0.00	0.0	Muy mala	Rvi
59.00	60.80	1.80	1.05	58.33	0.40	22.2	Muy mala	Rvi
60.80	63.80	3.00	3.00	100.00	2.52	84.0	Buena	Rvi
63.80	66.80	3.00	2.98	99.33	2.75	91.7	Excelente	Rvi
66.80	69.80	3.00	3.00	100.00	2.67	89.0	Buena	Rvi
69.80	72.80	3.00	3.00	100.00	2.15	71.7	Regular	Rvi
72.80	75.80	3.00	3.00	100.00	2.57	85.7	Buena	Rvi
75.80	78.80	3.00	3.00	100.00	1.78	59.3	Regular	Rvi
78.80	81.85	3.05	3.03	99.34	2.53	83.0	Buena	Rvi
81.85	84.85	3.00	2.98	99.33	2.72	90.7	Excelente	Rvi
84.85	87.90	3.05	3.05	100.00	2.88	94.4	Excelente	Rvi
87.90	90.95	3.05	3.05	100.00	2.74	89.8	Buena	Rvi
90.95	93.95	3.00	3.00	100.00	2.64	88.0	Buena	Rvi
93.95	96.95	3.00	3.00	100.00	2.79	93.0	Excelente	Rvi
96.95	99.95	3.00	3.00	100.00	2.78	92.7	Excelente	Rvi
99.95	102.95	3.00	3.00	100.00	2.95	98.3	Excelente	Rvi
102.95	105.95	3.00	3.00	100.00	2.85	95.0	Excelente	Rvi
105.95	108.95	3.00	3.00	100.00	1.95	65.0	Regular	Rvi
108.95	111.95	3.00	3.00	100.00	2.60	86.7	Buena	Rvi
111.95	114.95	3.00	3.00	100.00	2.90	96.7	Excelente	Rvi
114.95	117.95	3.00	3.00	100.00	2.98	99.3	Excelente	Rvi
117.95	120.95	3.00	3.00	100.00	2.82	94.0	Excelente	Rvi
120.95	123.95	3.00	3.00	100.00	2.98	99.3	Excelente	Rvi
123.95	126.95	3.00	3.00	100.00	2.94	98.0	Excelente	Rvi
126.95	130.00	3.00	3.00	100.00	2.94	98.0	Excelente	Rvi

SR – 16

Ubicado en la zona del cauce cercano al eje de la cortina con una profundidad de 95.65 m (Figura 5.16). Los núcleos recuperados fueron descritos en tres secuencias, los primeros tres metros corresponden a fragmentos de roca y terrazas aluviales. La segunda fase corresponde al tramo de 3 a 75 m descrito como Riolita vesicular inferior a los 71 metros se observó una zona de falla en donde se recuperó un tramo considerable de arcilla, posterior a este elemento estructural entramos en contacto con la tercera fase descrita como tobas hasta concluir el sondeo. De acuerdo con la información del porcentaje de recuperación e índice de calidad de roca (RQD) obtenidos en este sondeo se observó que en los primeros metros la calidad es muy mala, mientras que en los tramos posteriores mejoró la calidad oscilando entre regular y buena hasta los 41.7 m donde disminuye considerablemente su calidad siendo una roca de mala calidad hasta los 77.6 m. Los tramos siguientes aumenta la calidad de la roca (Tabla 5.5). Con respecto a los resultados obtenidos a partir de las pruebas de permeabilidad, los primeros cuatro tramos muestreados arrojaron resultados que concluyen que el macizo rocoso es impermeable, el penúltimo tramo que corresponde de 65-70 m es poco permeable y en el último tramo ensayado la roca es permeable.



Figura 5.25. Ejecución de trabajos de perforación en el barreno SR-16

Tabla 5.5. Registro del Sondeo SR-16.

PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD DE MUESTRA RECUPERADA		LONGITUD DE MUESTRAS >10 cm (m)	CALIDAD RQD		UNIDAD LITOSTRATI-GRÁFICA
DE	A	(m)	(m)	(%)		%	RQD	
0.00	0.60	0.60	0.30	50.00	0.00	0.0	No aplica	Qte
0.60	1.20	0.60	0.20	33.33	0.00	0.0	No aplica	Qal
1.20	1.80	0.60	0.40	66.67	0.10	16.7	No aplica	Qal
1.80	2.40	0.60	0.51	85.00	0.00	0.0	No aplica	Qal
2.40	3.00	0.60	0.54	90.00	0.00	0.0	No aplica	Qal
3.00	6.00	3.00	2.90	96.67	1.10	36.7	Mala	Rvi
6.00	9.00	3.00	2.92	97.33	2.22	74.0	Regular	Rvi
9.00	11.90	2.90	2.90	100.00	2.43	83.8	Buena	Rvi
11.90	14.90	3.00	3.00	100.00	2.45	81.7	Buena	Rvi
14.90	17.90	3.00	3.00	100.00	2.50	83.3	Buena	Rvi
17.90	20.80	2.90	2.90	100.00	1.48	51.0	Regular	Rvi
20.80	23.80	3.00	3.00	100.00	1.67	55.7	Regular	Rvi
23.80	26.75	2.95	2.95	100.00	2.90	98.3	Excelente	Rvi
26.75	29.75	3.00	3.00	100.00	2.66	88.7	Buena	Rvi
29.75	32.75	3.00	3.00	100.00	2.25	75.0	Buena	Rvi
32.75	35.75	3.00	3.00	100.00	2.27	75.7	Buena	Rvi
35.75	38.75	3.00	3.00	100.00	2.60	86.7	Buena	Rvi
38.75	41.70	2.95	2.95	100.00	2.38	80.7	Buena	Rvi
41.70	44.70	3.00	3.00	100.00	0.80	26.7	Mala	Rvi
44.70	47.70	3.00	3.00	100.00	1.05	35.0	Mala	Rvi
47.70	50.70	3.00	3.00	100.00	0.90	30.0	Mala	Rvi
50.70	53.70	3.00	3.00	100.00	0.83	27.7	Mala	Rvi
53.70	56.70	3.00	3.00	100.00	1.90	63.3	Regular	Rvi
56.70	59.70	3.00	3.00	100.00	1.30	43.3	Mala	Rvi
59.70	62.70	3.00	3.00	100.00	1.55	51.7	Regular	Rvi
62.70	65.65	2.95	2.95	100.00	1.74	59.0	Regular	Rvi
65.65	68.65	3.00	2.50	83.33	0.14	4.7	Muy mala	Rvi
68.65	71.65	3.00	2.30	76.67	0.41	13.7	Muy mala	Rvi
71.65	74.65	3.00	2.24	74.67	0.10	3.3	Muy mala	Rvi
74.65	77.65	3.00	3.00	100.00	1.83	61.0	Regular	Tbl
77.65	80.65	3.00	3.00	100.00	2.60	86.7	Buena	Tbl
80.65	83.65	3.00	3.00	100.00	2.70	90.0	Excelente	Tbl
83.65	86.65	3.00	3.00	100.00	2.00	66.7	Regular	Tbl
86.65	89.65	3.00	3.00	100.00	3.00	100.0	Excelente	Tbl
89.65	92.65	3.00	3.00	100.00	3.00	100.0	Excelente	Tbl
92.65	95.65	3.00	3.00	100.00	2.70	90.0	Excelente	Tbl

SR - 17

Ubicado en la zona del cauce cercano al cadenamiento 0 + 270 de la línea B-B' (Figura 5.17) con una profundidad de 80.00 m con inclinación de 55° con respecto a la horizontal y ademe del inicio hasta los 12 m. Descrita en cuatro fases, donde los primeros tres metros se componen de fragmentos de roca y terrazas aluviales. La segunda fase corresponde al tramo de 3 a 58 metros de profundidad de roca caracterizada como Riolita vesicular inferior. A los 26 metros se aprecia una zona de brechas bien cementadas y de 40 a 41 metros se aprecia una zona de falla y fracturamiento intenso. En la tercera fase se describe toba lítica que va de 58 a 65.50 m. Como cuarta fase se describe un paquete de Dacita que va de 65.50 a 75 metros y para finalizar el barrenado se encontró nuevamente toba lítica que va de 75 a 80 metros de profundidad. De acuerdo con la información del porcentaje de recuperación e índice de calidad de roca (RQD) obtenidos en este sondeo (Tabla 5.6) en los primeros 54 m la calidad de la roca oscila entre mala y muy mala, a partir de los 54 m la calidad de la roca aumenta a regular y buena con un tramo de excelente calidad.



Figura 5.267. Actividades de perforación llevadas a cabo en el sondeo inclinado SR-17 en la zona del cauce del río

Tabla 5.6. Registro del Sondeo SR-17.

PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD DE MUESTRA RECUPERADA		LONGITUD DE MUESTRAS >10 cm (m)	CALIDAD RQD		UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA
DE	A	(m)	(m)	(%)		%	RQD	
0.00	3.00	3.00	2.88	96.00	1.05	35.0	Mala	Qal
3.00	6.00	3.00	3.00	100.00	1.53	51.0	Regular	Rvi
6.00	9.00	3.00	2.70	90.00	0.60	20.0	Muy mala	Rvi
9.00	12.00	3.00	2.24	74.67	0.00	0.0	Muy mala	Rvi
12.00	15.00	3.00	2.30	76.67	0.00	0.0	Muy mala	Rvi
15.00	18.00	3.00	3.00	100.00	1.33	44.3	Mala	Rvi
18.00	21.00	3.00	3.00	100.00	0.68	22.7	Muy mala	Rvi
21.00	24.00	3.00	3.00	100.00	0.40	13.3	Muy mala	Rvi
24.00	27.00	3.00	3.00	100.00	0.48	16.0	Muy mala	Rvi
27.00	30.00	3.00	3.00	100.00	1.14	38.0	Mala	Rvi
30.00	33.00	3.00	3.00	100.00	0.80	26.7	Mala	Rvi
33.00	36.00	3.00	3.00	100.00	0.80	26.7	Mala	Rvi
36.00	39.00	3.00	3.00	100.00	0.65	21.7	Muy mala	Rvi
39.00	42.00	3.00	2.63	87.67	0.73	24.3	Muy mala	Rvi
42.00	45.00	3.00	2.00	66.67	0.30	10.0	Muy mala	Rvi
45.00	48.00	3.00	3.00	100.00	0.80	26.7	Mala	Rvi
48.00	51.00	3.00	3.00	100.00	1.21	40.3	Mala	Rvi
51.00	54.00	3.00	3.00	100.00	0.91	30.3	Mala	Rvi
54.00	57.00	3.00	3.00	100.00	1.60	53.3	Regular	Rvi
57.00	60.00	3.00	3.00	100.00	2.19	73.0	Regular	Rvi/ Tb
60.00	63.00	3.00	3.00	100.00	2.60	86.7	Buena	Tb
63.00	66.00	3.00	3.00	100.00	2.85	95.0	Excelente	Tb/Da
66.00	69.00	3.00	3.00	100.00	2.63	87.7	Buena	Da
69.00	72.00	3.00	3.00	100.00	2.28	76.0	Buena	Da
72.00	75.00	3.00	3.00	100.00	2.20	73.3	Regular	Da/Tb
75.00	78.00	3.00	3.00	100.00	2.49	83.0	Buena	Tb
78.00	80.00	2.00	2.00	100.00	1.65	82.5	Buena	Tb

SR - 18

Ubicado a un costado del cauce del río en el lado izquierdo aguas abajo con una profundidad de 80.00 m con inclinación de 60° (Figura 5.18) con respecto a la horizontal. Descrita en cinco unidades litológicas, donde los primeros seis metros se componen de fragmentos de roca y terrazas aluviales. La segunda unidad corresponde al tramo de 6 a 52 metros de profundidad caracterizada como riolita vesicular inferior a los 28 metros se aprecia una zona de brechas bien cementadas, de 39 a 43 metros se aprecia una zona de falla y fracturamiento intenso, en la tercera unidad se describe toba lítica que va de 52 a 60 metros, como cuarta unidad se describe un paquete de Dacita que va de 60 a 72 metros y para finalizar el barreno se encontró nuevamente toba lítica que va de 72 a 81 metros de profundidad. De acuerdo con la información del porcentaje de recuperación e índice de calidad de roca (RQD) los primeros metros presentan una muy mala calidad de la roca y a partir de los 12 m aumenta la calidad alternándose entre tramos de buena calidad con regular y mala calidad (Tabla 5.7).



Figura 5.18. Barreno SR-18 inclinado a un costado del cauce del río aproximadamente a 70 m del eje de la cortina.

Tabla 5.7. Registro del Sondeo SR-18.

PROFUNDIDAD (m)		LONGITUD PERFORADA	LONGITUD DE MUESTRA RECUPERADA		LONGITUD DE MUESTRAS >10 cm (m)	CALIDAD RQD		UNIDAD LITOSTRATI-GRÁFICA
DE	A	(m)	(m)	(%)		%	RQD	
0.00	3.00	3.00	2.29	76.33	0.00	0.0	No aplica	Qal
3.00	6.00	3.00	1.35	45.00	0.00	0.0	No aplica	Qal
6.00	9.00	3.00	2.15	71.67	0.20	6.7	No aplica	Qal
9.00	12.00	3.00	1.80	60.00	0.72	24.0	Mala	Rvi
12.00	15.00	3.00	3.00	100.00	2.90	96.7	Muy buena	Rvi
15.00	18.00	3.00	3.00	100.00	2.70	90.0	Muy buena	Rvi
18.00	21.00	3.00	3.00	100.00	2.33	77.7	Buena	Rvi
21.00	24.00	3.00	3.00	100.00	2.81	93.7	Muy buena	Rvi
24.00	27.00	3.00	3.00	100.00	2.55	85.0	Buena	Rvi
27.00	30.00	3.00	3.00	100.00	1.15	38.3	Mala	Rvi
30.00	33.00	3.00	3.00	100.00	1.35	45.0	Mala	Rvi
33.00	36.00	3.00	3.00	100.00	2.45	81.7	Buena	Rvi
36.00	39.00	3.00	3.00	100.00	1.25	41.7	Mala	Rvi
39.00	42.00	3.00	2.75	91.67	0.75	25.0	Mala	Rvi
42.00	45.00	3.00	2.07	69.00	0.90	30.0	Mala	Rvi
45.00	48.00	3.00	3.00	100.00	2.75	91.7	Muy buena	Rvi
48.00	51.00	3.00	3.00	100.00	1.23	41.0	Mala	Rvi
51.00	54.00	3.00	3.00	100.00	2.10	70.0	Regular	Tbl
54.00	57.00	3.00	3.00	100.00	2.60	86.7	Buena	Tbl
57.00	60.00	3.00	3.00	100.00	2.20	73.3	Regular	Tbl
60.00	63.00	3.00	3.00	100.00	2.00	66.7	Regular	Da
63.00	66.00	3.00	3.00	100.00	2.34	78.0	Buena	Da
66.00	69.00	3.00	3.00	100.00	1.29	43.0	Mala	Da
69.00	72.00	3.00	3.00	100.00	2.00	66.7	Regular	Da
72.00	75.00	3.00	3.00	100.00	1.95	65.0	Regular	Tbl
75.00	78.00	3.00	3.00	100.00	0.78	26.0	Mala	Tbl
78.00	81.00	3.00	3.00	100.00	3.00	100.0	Excelente	Tbl

A partir de los resultados obtenidos mediante la descripción de núcleos junto con los datos de estudios anteriores y para conocer la distribución de las unidades geológicas en el subsuelo, dibujé una sección sobre el eje de la cortina en el cual se aprecian los resultados de la barrenación. En la figura 5.19 se visualizan las unidades y la profundidad a las que fueron localizadas. Se aprecia el contacto entre las unidades, así como la existencia de dos unidades geológicas que no afloran en superficie, Toba lítica y Dacita.

Estructuralmente, el eje de la cortina se encontrará sobre dos fallas normales, falla A y Falla del Cauce, además se mapeó la zona de incidencia de las fallas, en las que se observó que la roca presenta baja resistencia. Igualmente se encuentra en la margen derecha una falla normal (F.V.3) en la Riolita columnar, por la cual pueden existir pequeñas filtraciones.

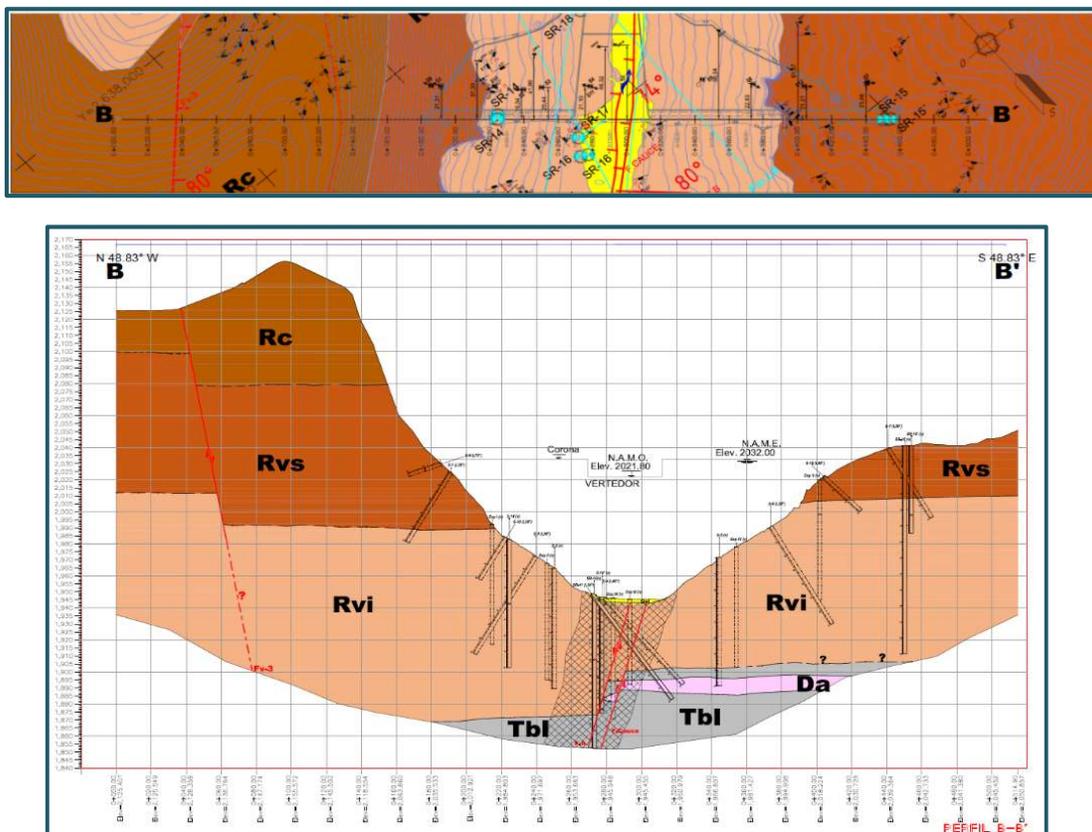


Figura 5.19. Eje longitudinal correspondiente a la cortina.

Perfil de Absorción

Las pruebas de absorción realizadas en los sondeos SR-14, SR-15 y SR-16 son de tipo Lugeon y están ubicados en el eje de la cortina. A partir de los parámetros iniciales obtenidos se elaboró un perfil de absorción (Figura 5.20), se ejecutaron 18 pruebas de permeabilidad, 6 pruebas en cada sondeo, con tramos de cinco metros ensayados.

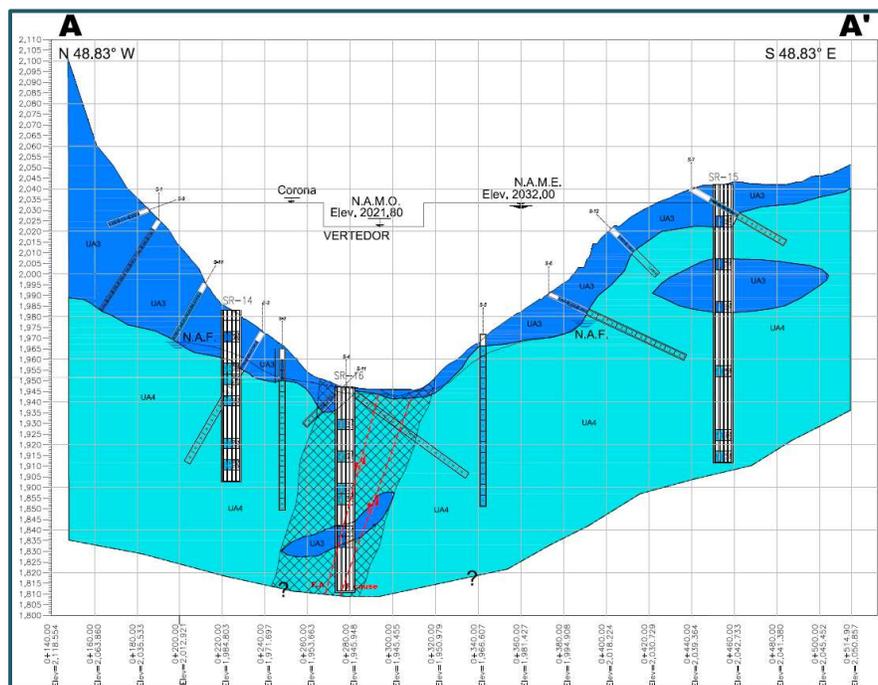


Figura 5.20. Perfil de absorción de acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas Lugeon en el eje de la cortina.

Al revisar la información de los pozos de observación de la zona de la cortina S-3 y S-5, ubicada uno en margen izquierda y otro en margen derecha, que se denominaron Piezómetro-1 (Pz-1) y Piezómetro- 2 (Pz-2). El N.A.F. (Nivel de Aguas Freáticas) oscila entre 13.20 y 22.20 m en su última medición del Pz-2 (año 2018). Ambos sondeos se encuentran a un nivel freático similar al nivel del Río Tunal, por lo que se puede inferir que el agua se filtra en el macizo rocoso y fluye a través de los sistemas de fracturamiento hasta estabilizarse con el nivel del río. En la Tabla 5.8 se pueden observar los resultados de cada una de las pruebas.

Tabla 5.8. Resultados de las 18 pruebas realizadas en cada sondeo.

Sondeo	Tramo muestreado (m)	Ubicación	Permeabilidad	
			(U.L.)	k (cm/s)
SR-14	10-15	Margen Izquierdo	1.48	1.48×10^{-7}
	25-30		0.67	6.67×10^{-8}
	30-35		0.67	6.67×10^{-8}
	40-45		0.64	6.40×10^{-8}
	60-65		0.34	3.46×10^{-8}
	70-75		0.23	2.28×10^{-8}
SR-15	15-20	Margen Derecho	0.05	5.3×10^{-9}
	35-40		1.41	1.41×10^{-7}
	55-60		8.03	8×10^{-7}
	85-90		0.37	3.69×10^{-8}
	115-120		0.04	3.99×10^{-9}
	125-130		0.01	1.49×10^{-9}
SR16	15-20	Cauce del Río	0.05	5.30×10^{-9}
	30-35		0.07	7.22×10^{-9}
	45-50		0.03	2.61×10^{-9}
	50-55		0.47	4.73×10^{-9}
	65-70		10.55	1.05×10^{-6}
	70-75		12.54	1.25×10^{-6}

Por otro lado, se observa que la zona de falla en el cauce del río tiene un segmento a una elevación de 1840 con 60 a 75 m de profundidad donde la absorción del macizo rocoso aumenta, teniendo valores entre 10.55 U. L y 12.5 U.L. El análisis de la información integrada permitió determinar que la mayor parte del macizo rocoso es impermeable y que en escasas zonas de alteración argílica y zonas de incidencia de falla la roca se vuelve más permeable. De igual manera se observa que las partes permeables se encuentran en la parte superficial de la zona. Los criterios de interpretación y correlación con los resultados de permeabilidad se proporcionan en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9. Tabla de permeabilidad.

Unidad de absorción	Formación	Litología	Absorción	Coefficiente de absorción	Unidades Lugeon
UA1	Formaciones superficiales	Aluvión	Elevada	$k > 10 \text{ E}-3$	>6
UA2	Formaciones superficiales	Riolita Vesicular Superior	Media	$10 \text{ E}-3 > k > 10 \text{ E}-5$	$6 > \text{U.L.} > 3$
UA3	Sustrato rocoso	RVI, Toba	Baja	$10 \text{ E}-5 > k > 10 \text{ E}-7$	>3
UA4	Sustrato rocoso	RVS, RVI, Toba, Dacita	Muy baja	$10 \text{ E}-7 > k > 10 \text{ E}-9$	3
UA5	Sustrato rocoso	RVS, RVI	Impermeable	$< 10 \text{ E}-9$	0-1

Pruebas de Corte directo in situ:

A continuación, se hace una descripción de los sitios donde fueron ejecutadas las pruebas de corte directo, la inclinación y dirección de la inclinación de las discontinuidades seleccionadas para la ejecución de la prueba y en qué tipo de roca fueron aplicadas:

Prueba de corte directo 1:

La primera prueba se realizó en la margen derecha, sitio con coordenadas UTM: X= 562624, Y= 2637671, en un plano de discontinuidad vertical (Figura 5.21) el cual se encuentra en la Riolita vesicular superior descrita como una roca ígnea extrusiva con una tonalidad rojiza a café claro, el plano presentaba un rumbo echado/ echado de $192^{\circ}/82^{\circ}$ (Figura 5.22).



Figura 5.21. Bloque de ensayo para la prueba de corte directo 1 sobre un plano de discontinuidad vertical en Riolita Vesicular Superior.

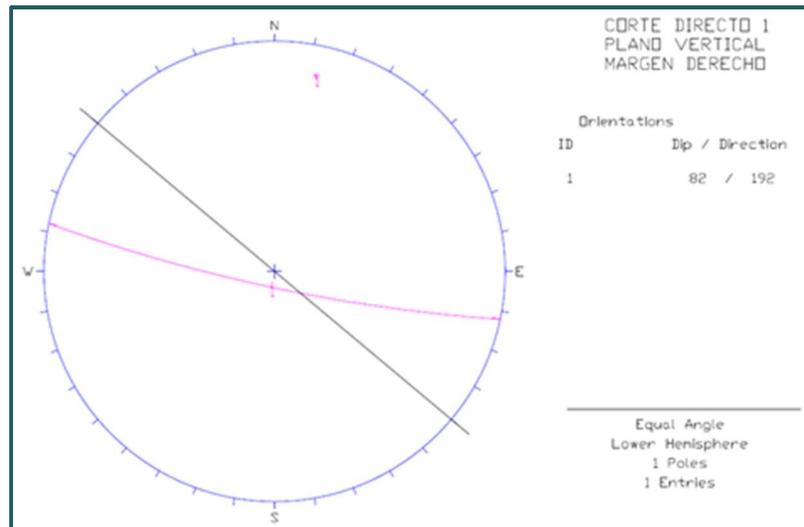


Figura 5.22. Estereograma de la discontinuidad ensayada para la prueba de corte directo 1.

Prueba de corte directo 2:

La segunda prueba se realizó en la margen izquierda, con coordenadas UTM: X= 522217, Y= 2637600, en un plano de discontinuidad horizontal (Figura 5.23) el cual se encuentra en la Riolita vesicular inferior la cual es una roca ígnea extrusiva la cual presenta una tonalidad rojiza a café claro, el plano presentaba un rumbo echado/echado de $358^{\circ}/8^{\circ}$ (Figura 5.24).



Figura 5.23. Bloque de ensayo para la prueba de corte directo 2 en Riolita Vesicular Inferior sobre un plano horizontal.

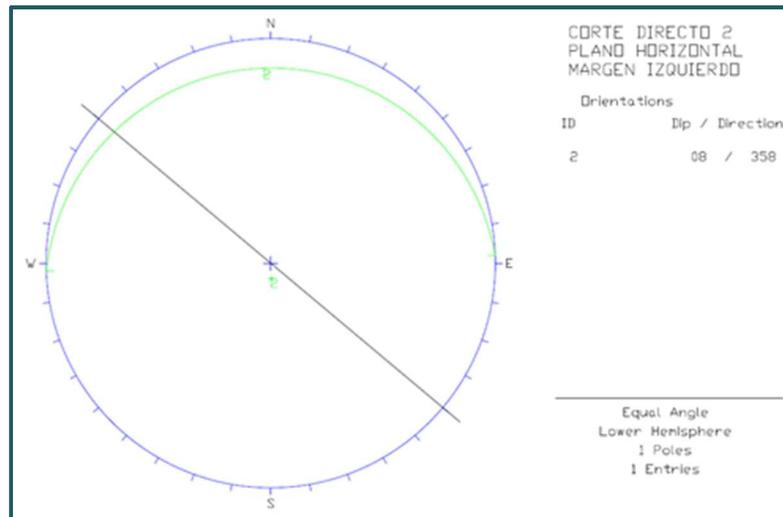


Figura 5.24. Estereograma correspondiente a la discontinuidad ensayada para la prueba de corte directo 2.

Prueba de corte directo 3:

La tercera prueba se realizó en la margen derecha, con coordenadas UTM: X= 522443, Y= 2637617, en un plano de discontinuidad vertical (Figura 5.25) el cual se encuentra en la Riolita vesicular superior la cual es una roca ígnea extrusiva la cual presenta una tonalidad rojiza a café claro, el plano presentaba un rumbo echado/ echado de $044^{\circ}/80^{\circ}$ (Figura 5.26).



Figura 5.25. Bloque de ensayo sobre plano vertical en Riolita Vesicular Superior en el que se efectuó la prueba de corte directo 3.

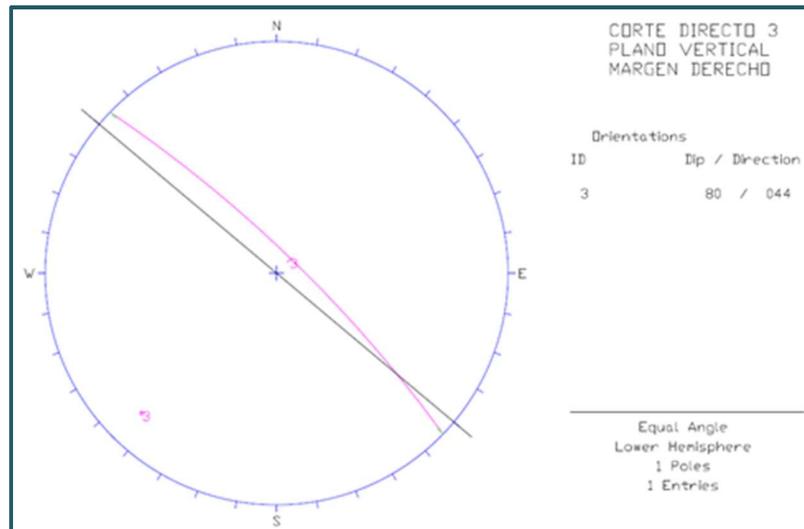


Figura 5.26. Estereograma correspondiente a la discontinuidad ensayada en la prueba de corte directo 3

Prueba de corte directo 4:

La cuarta prueba se realizó en la margen izquierda, con coordenadas UTM: 522217,2637600, en un plano de discontinuidad horizontal (Figura 5.27) el cual se encuentra en la Riolita vesicular inferior la cual es una roca ígnea extrusiva con una tonalidad rojiza a café claro. El plano presentaba un rumbo echado/echado de $23^{\circ}/16^{\circ}$ (Figura 5.28).



Figura 5.27. Bloque de ensayo sobre una discontinuidad horizontal para la prueba de corte directo

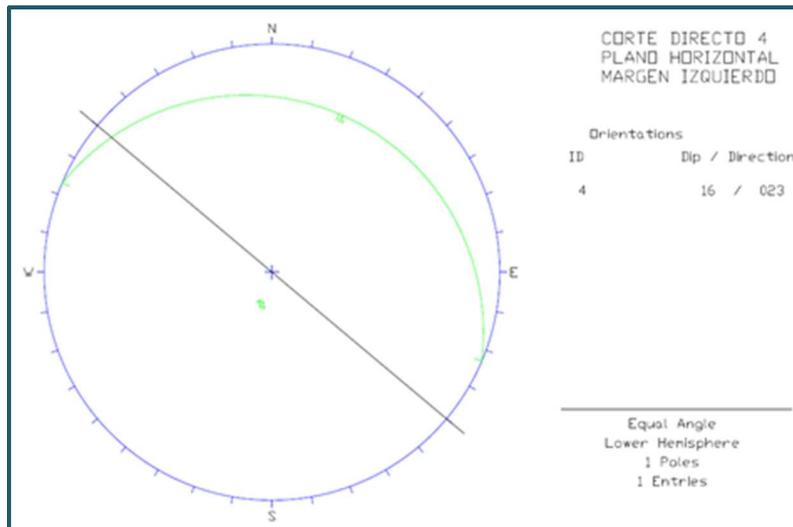


Figura 5.28. Estereograma de la discontinuidad utilizada para la ejecución de la prueba de corte directo 4.

Los resultados obtenidos en la prueba son cohesión y ángulo de fricción interna, dichos valores son representativos del macizo rocoso y representan la resistencia residual entre los planos de falla tanto horizontal como vertical (Figura 5.29).

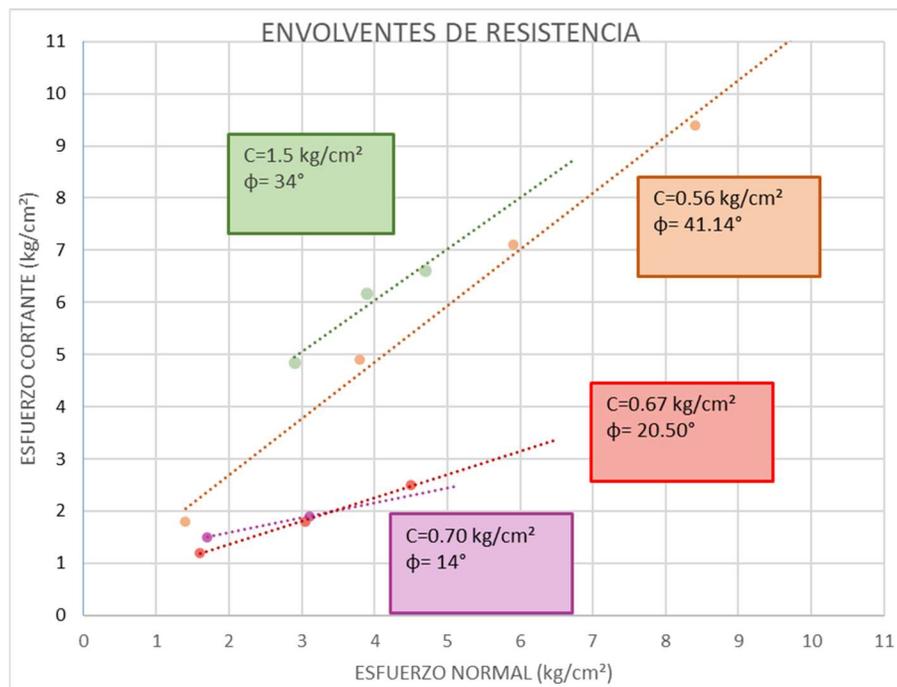


Figure 5.29. Envolventes de resistencia de la prueba de corte directo.

Modelo Geomecánico:

Por último, con ayuda del Software Midas GTS NX ® apoye a realizar un modelo de elemento finito 2D y 3D para el cual se conjuntaron todos los datos. El objetivo fue conocer las condiciones de estabilidad de la estructura al someterse a cargas ordinarias y extraordinarias. Los resultados servirán para realizar adecuaciones y definir el diseño avanzado del proyecto.

El modelo geológico-geotécnico se realizó a partir de los parámetros geomecánicos que presentó la roca (Tabla 5.10), entre ellos la resistencia a la compresión simple, módulos de elasticidad, relación de Poisson, cohesión y ángulo de fricción interna, datos obtenidos a partir de las pruebas de laboratorio pertinentes, así como las propiedades dinámicas obtenidas gracias a la sísmica de pozo (Downhole).

Tabla 5.10. Parámetros de Resistencia y Deformabilidad.

UNIDAD GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA			PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD												
			P.V.N. KN/m3	Parámetros Estáticos					Parámetros Dinámicos						
				E Mpa	G Mpa	v	c Mpa	ϕ grados	Vp (m/s)	Vs (m/s)	E Mpa	G Mpa	v*		
QaI															
Rvs	Riolita vesicular superior alterada	UGG-2a	24	250	97	0.29							5,000	1,894	0.32
	Riolita vesicular superior profunda	UGG-2b	24	1,420	546	0.3	8	51					5,120	1,829	0.4
Rvi	Riolita vesicular inferior	UGG-3a	23	1,300											
	Riolita vesicular inferior	UGG-3b	24	1,300	504	0.29			2,230	920					
	Riolita vesicular inferior	UGG-3c MI	24	1,938	808	0.2	4	53	2,230	940	6,050	2,176.26			0.39
	Riolita vesicular inferior	UGG-3c MD	24	1,770	720	0.23	2.5	48	2,042	615	6,138	2,207.91			0.39
Tbi I	Toba Lítica	UGG-4	24.5	1,160	475	0.22	4.5	49							
Da	Dacita	UGG-5	21	1,610	644	0.25	1.3	58							

Simbología:		
P.V.N.:	Peso Volumetrico Natural	ϕ
qu:	Resistencia a la compresión simple	ti:
E:	Módulo de Elasticidad al 50% de la carga máxima	qu*
v:	Módulo de Poisson obtenido en laboratorio.	E _{campo}
c:	Cohesión obtenida en la prueba de corte directo en laboratorio.	Mp:
		Vp: Velocidad de Onda primaria
		Vs: Velocidad de Onda Secundaria.
		E: Módulo de elasticidad obtenido en campo
		G: Módulo de rigidez al Corte.
		v*: Módulo de Poisson obtenido en campo

Las unidades geotécnicas se subdividen de acuerdo con la litología y a las propiedades antes mencionadas, son similares a las descritas para el modelo geológico, a excepción de la zona del cauce del río en el que se encuentra la zona

de incidencia de las fallas, donde además existe la presencia de una capa arcillosa, la cual se zonificó con ayuda de la exploración directa y los resultados de la prospección eléctrica.

A continuación, se presentan algunas imágenes del modelo tridimensional generado:

En la Figura 5.29 se aprecian las unidades geomecánicas y su distribución tanto superficialmente como en el subsuelo, donde además se incluye el salto de falla determinado a partir de los sondeos SR-16 y SR-17. La zona arcillosa definida con ayuda de la prospección geofísica se puede observar en la Figura 5.30. Además, se observa la cortina, así como la distribución de los diferentes materiales que serán empleados para su construcción (Figura 5.31). A cada material se le asignaron los parámetros obtenidos por las pruebas de campo y de laboratorio, así como una combinación de condiciones a las que estará expuesta en su proceso constructivo y posterior funcionamiento de la presa.

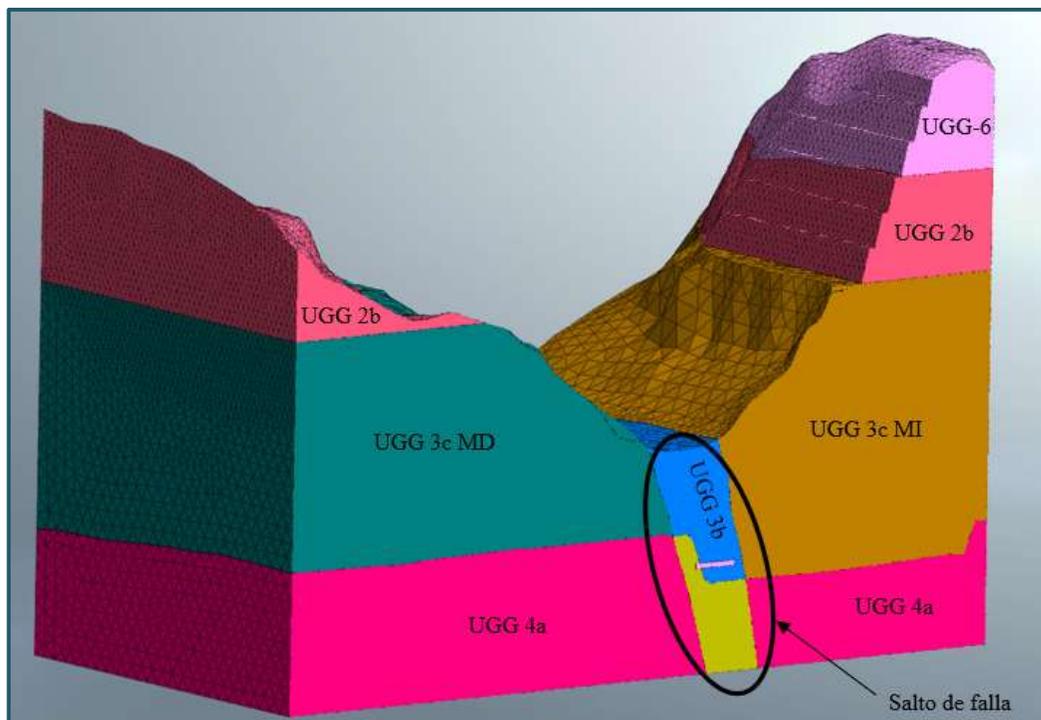


Figura 5.30. Modelo geológico-geotécnico 3D, donde se observa la cortina con su diseño final.

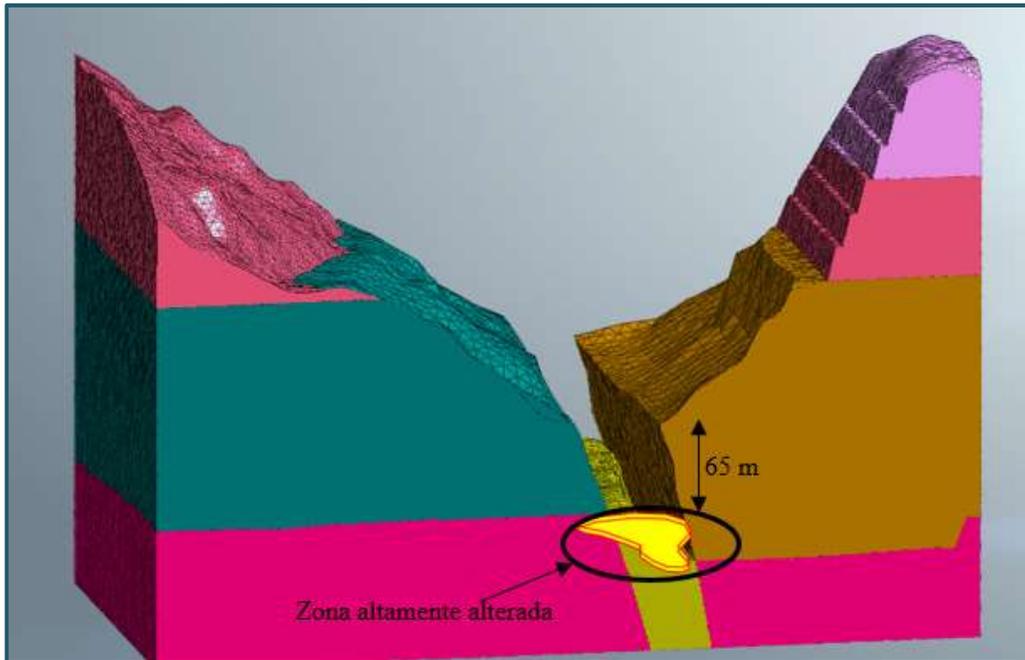


Figura 5.31. Representación del salto de falla en modelo tridimensional.

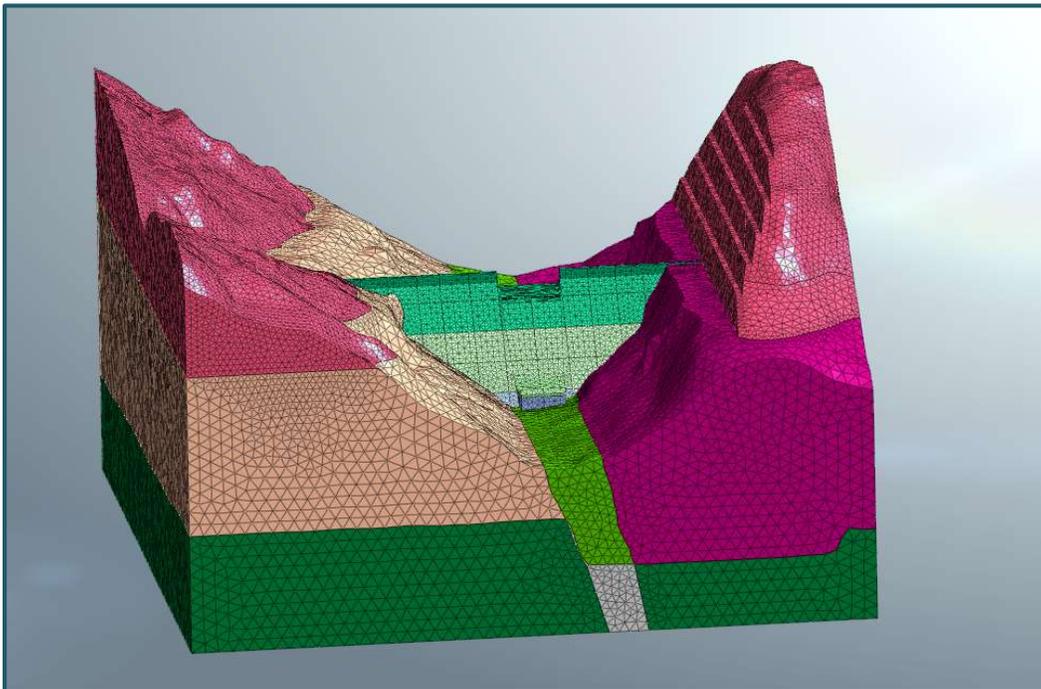


Figura 5.32. Zona altamente alterada ubicada a 65 m de profundidad con respecto al nivel del cauce.

Conclusiones:

- La zona de estudio se encuentra en la región conformada por rocas volcánicas de composición riolítica de edad Oligoceno, perteneciente al Complejo Volcánico Superior en la Sierra Madre Occidental. Dentro de la zona de estudio se encuentran cinco unidades ígneas diferentes:
 - Depósitos aluviales (Qal) y terrazas aluviales (Qte)
 - Riolita Columnar
 - Riolita Vesicular Superior
 - Riolita Vesicular Inferior
 - Dacita
 - Toba Lítica
- Desde el punto de vista geológico la orientación de las fracturas principales tiene tendencias al NW-SE y NE-SW con ángulos altos de buzamiento (60° a 90°) lo que genera bloques con tendencia a deslizamientos, a partir de esto se propone un perfilamiento a los taludes 2:1 con un escalón de 10 m y realizar análisis de estabilidad.
- En la zona del cauce se tiene mapeada una falla geológica de tipo normal, con los núcleos de recuperación del sondeo SR-16 y SR-16' se pudo detectar que se encuentra brechada y con un mayor grado de fracturamiento así como fracturas cerradas y algunas rellenas de calcita y calcedonia, estas características le dan impermeabilidad al macizo rocoso. De igual manera en la margen izquierda topográficamente existe una condición natural marcada por la falla denominada Fv-3 que en términos hidrogeológicos representaría probablemente reducidas filtraciones. Es importante considerarlo para futuros tratamientos de la cimentación y asegurar la permeabilidad del vaso debido a que se encuentra dentro de los niveles del N.A.M.O y N.A.M.E.
- En general el macizo rocoso presenta un comportamiento impermeable a poco permeable, salvo zonas aisladas, esto con base a los valores

bajos de absorción obtenidos en la mayoría de las pruebas de permeabilidad; estos datos se correlacionan con los valores promedio de recuperación y RQD obtenidos, que nos indican que el macizo en general es de buena calidad.

- El macizo rocoso en algunas partes se encuentra muy fracturado y alterado, sin embargo, los resultados de las pruebas realizadas tanto en campo como en laboratorio, así como los resultados del análisis esfuerzo-deformación de la estructura y la zona de estudio concluyen que es factible la realización del proyecto.
- La interpretación de los datos geológicos-geotécnicos obtenidos en campo para la caracterización del sitio es de gran importancia ya que un proyecto de esta magnitud ofrece un beneficio para la comunidad a corto, mediano y largo plazo. Considerando todo esto se debe buscar proteger la integridad del sitio y de las personas que se encuentran en comunidades cercanas.

Recomendaciones

- Es necesario contar con los registros N.A.F históricos en los piezómetros 1 y 2 así como en el sondeo SR-16, para verificar el comportamiento geohidrológico de la boquilla cuando menos un ciclo de lluvias y estiaje, para confirmar la posición del nivel freático.
- Para poder caracterizar la falla del Cauce se recomienda que se continúe con la campaña de exploración geotécnica en el cauce del Río El Tunal, que permita mediante la recuperación de núcleos confirmar la presencia de la falla y conocer la influencia que ésta tendría en el macizo rocoso. Así como poder calcular posibles asentamientos que puedan existir por la presencia de brecha de falla.

Bibliografía:

Servicio Geológico Mexicano, carta geológica – Presa Presidente Guadalupe Victoria F13-B11 escala 1: 50 000.

Luca Ferrari, Martín Valencia-Moreno, Scott Bryan, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Tomo LVII, núm. 3, 2005, p. 343-378.

Córdoba Diego A., Silva-Mora Luis, Marco geológico del área de Revolución-Puerta de Cabrera, Estado de Durango, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas volumen 8, número 2, 1989, p. 111-122.

Wittke, W. (1990) Rock Mechanics, Theory and Application with case histories, Mercedes Druck, Berlin, 1990, p. 891-921.

CFE, Realización de Pruebas de Permeabilidad tipo Lugeon, Guía CFE 10000-48, México, 1995, p.9.

Consejo de Recursos Minerales, Monografía geológico-minera del estado de Durango, Primera Edición 1993, Impreso en México, p.202.

Romana Ruiz Manuel, La clasificación geomecánica DMR: Una herramienta para las revisiones de seguridad de la cimentación de presas, Comité Nacional Español de grandes presas, Universidad Politécnica de Valencia.

Comisión Nacional del Agua, Desarrollo de Ingeniería y construcción de la Presa de almacenamiento El Realito, octubre 2012, p. 5-10.

González de Vallejo Luis I., Ingeniería Geológica, Pearson Education, Madrid, 2002, p. 548-574.

Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, Manual de diseño geotécnico, México, agosto 1987.

Anexos:

Se adjuntan de manera representativa una ficha geológica de ambas márgenes en la que se asignan los parámetros mecánicos de la roca, así como los formatos de registro para sondeo que contiene toda la información necesaria para su interpretación:

EL TUNAL II MARGEN DERECHA

FICHA GEOLÓGICA-GEOTECNICA

FRENTE	RVI-28	ELABORÓ Karina Navarrete Flores
FECHA	07/09/2017	
CADENAMIENTO		
MARGEN	DERECHO	

DESCRIPCIÓN DEL FRENTE Y OBSERVACIONES

El macizo rocoso lo conforma una roca ígnea extrusiva, la cual esta compuesta principalmente por fenocristales de cuarzo y feldespatos alcalinos, en su estructura se presenta vesículas de diversos tamaños por lo cual se determino el nombre de riolita vesicular y debido a que esta se encuentra por debajo de otra unidad riolítica se cartografio como **riolita vesicular inferior**, presenta una coloración rojiza al fresco, cuenta con una textura porfídica la cual esta afectado por dos sistemas de diaclasas y una ocasional que forman bloques, el macizo rocoso se encuentra ligeramente alterado, el cual se encuentra relleno de materia vegetal, el macizo en la hora de la evaluación se encuentra seco.

RCS (Kg./cm ²)							
>2500	2500-1000	1000-500	500-250	250-50	50-10	<10	VALOR
15	12	7	4	2	1	0	7

RQD (%)					
90-100	75-90	50-75	25-50	< 25	VALOR
20	17	13	6	3	17

Separación (m)					
>2.00	0.6-2.0	0.2-0.6	0.06-0.20	<0.06	VALOR
20	15	10	8	5	10

Estado de las discontinuidades (familia principal)						
Persistencia (m)	<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	>20	VALOR
	6	4	2	1	0	2
Apertura (mm)	0	<0.10	0.1 a 1.0	1 a 5	>5	VALOR
	6	5	3	1	0	3
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Espejo	VALOR
	6	5	3	1	0	3
Relleno	Sin relleno	Relleno duro		Relleno blando		VALOR
		< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm	
	6	4	2	2	0	2
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto	VALOR
	6	5	3	1	0	5
Presencia de agua	Seco	Algo húmedo	Húmedo	Goteo	Fluyendo	VALOR
	15	10	7	4	0	15
SUMA						64

FAM	RE	E
J1	340	48
J2	272	86
J3	250	30

Corrección por orientación de discontinuidades							
Dirección perpendicular al talud				Dirección paralela al talud		Subhorizontal	VALOR
Excavación hacia echado		Excavación contra echado					
45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	< 20°	
0	-5	-25	-50	-60	-25	-50	-5

RESULTADO	
RMR	CLASE
59	III

Tabla que corresponde a la estabilidad de la roca					
CLASE	V	IV	III	II	I
RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
DESCRIPCIÓN	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
ESTADO	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable

FOTOGRAFÍA



CROQUIS



CONCLUSIONES

De acuerdo al levantamiento geológico-geotécnico realizado, se observa que el material es de regular calidad según su RMR de 59, esto debido a que se encuentra ligeramente fracturado, lo que a su vez forman cuñas de diversos tamaños las cuales están propensas a deslizamientos, grano e intemperismo.

EL TUNAL II MARGEN IZQUIERDA

FICHA GEOLÓGICA-GEOTECNICA

FRENTE	RVI-31	ELABORÓ Karina Navarrete Flores
FECHA	05/09/2018	
CADENAMIENTO		
MARGEN	IZQUIERDO	

DESCRIPCIÓN DEL FRENTE Y OBSERVACIONES

Se observa Riolita de coloración rosa en roca sana y tonalidad gris en roca intemperizada, se evaluaron minerales como cuarzo y feldespatos en muestras de mano, esta unidad litológica presenta texturalmente vesículas aisladas sin relleno, se detectaron tres familias de fracturamiento sin relleno y de planos rugosos estos planos de fracturamiento se desvanecen a profundidad, no se aprecia humedad. Cabe mencionar que en el sitio se observan bloques de 5 m de ancho por 10 m de alto dando un aspecto columnar.

RCS (Kg./cm ²)							
>2500	2500-1000	1000-500	500-250	250-50	50-10	<10	VALOR
15	12	7	4	2	1	0	7

RQD (%)					
90-100	75-90	50-75	25-50	< 25	VALOR
20	17	13	6	3	3

Separación (m)					
>2.00	0.6-2.0	0.2-0.6	0.06-0.20	<0.06	VALOR
20	15	10	8	5	5

Estado de las discontinuidades (familia principal)						
Persistencia (m)	<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	>20	VALOR
	6	4	2	1	0	6
Apertura (mm)	0	<0.10	0.1 a 1.0	1 a 5	>5	VALOR
	6	5	3	1	0	5
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Espejo	VALOR
	6	5	3	1	0	3
Relleno	Sin relleno	Relleno duro		Relleno blando		VALOR
		< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm	
	6	4	2	2	0	6
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto	VALOR
	6	5	3	1	0	6
Presencia de agua	Seco	Algo húmedo	Húmedo	Goteo	Fluyendo	VALOR
	15	10	7	4	0	15
SUMA						56

FAM	RE	E
1	74	82
2	195	87
3	234	60

Corrección por orientación de discontinuidades							
Dirección perpendicular al talud				Dirección paralela al talud		Subhorizontal	VALOR
Excavación hacia echado		Excavación contra echado					
45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	< 20°	
0	-5	-25	-50	-60	-25	-50	-5

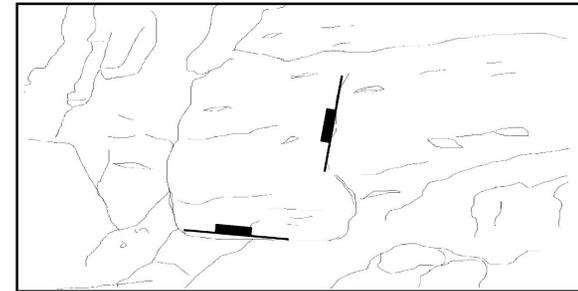
RESULTADO	
RMR	CLASE
51	III REGULAR

Tabla que corresponde a la estabilidad de la roca					
CLASE	V	IV	III	II	I
RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
DESCRIPCIÓN	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
ESTADO	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable

FOTOGRAFÍA



CROQUIS



CONCLUSIONES

La evaluación geológica geotécnica de acuerdo al RMR obtenido de 51 se clasifica como de calidad Regular.

Proyecto: SR-16 Adeno a 6.00 m										TUNAL II									
Barrido No.		SR-16		Adeno a 6.00 m		Coordenada X		Coordenada Y		Perforada		Elevación		Interpretado por		Fecha		Resistencia	
130		130		m		2632996		2632990		2040		Ernesto Paez		Karin Nazarete Flores		20/09/2018		m	
Avance perforación		Agua		Recuperación/RCD		Tipo Suelo/Roca		Fracturas (m)		Inclinación		Fracturas (m)		Inclinación		Permeabilidad (m/s)		Resistencia	
m/min		litros/min		%		Símbolo		2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100		°		1 1 2 3 4 5		°		%		1 2 3 4 5	
1.0						Fragmentos de roca				16°									
2.0										27°									
3.0										36°									
4.0										3°/20°									
5.0										70°									
6.0										50°									
7.0										12°									
8.0						Rvs: Riolita vesicular superior: Roca ríolita de coloración roja y tonalidad café, se observan fenocristales de cuarzo envueltos en una matriz vítreo, el sistema de fracturamiento es horizontal y subhorizontal además cerrado y en ocasiones sellado por carbonato de calcio. Se observan algunas vesículas aisladas.				80°									
9.0										85°									
10.0										12°/70°									
11.0										13°/60°									
12.0										10°		semi abierto							
13.0										13°		semi abierto							
14.0										8°		semi abierto							
15.0										11°/52°									
16.0										7°/13°									
17.0										8°/50°		cerrada							
18.0										80°									
19.0										8°									
20.0										30°									
21.0										78°		Ar							
22.0										30°		Ar							
23.0										9°									
24.0										8°									
25.0										10°									
26.0										30°									
27.0										10°									
28.0										10°									
29.0										50°									
30.0										20°									
31.0										18°									
32.0										18°									
33.0										16°									
34.0										40°									
35.0						Rvs: Roca ríolita de coloración roja en muestra húmeda, se aprecian fenocristales de cuarzo envueltos en una matriz vítreo, se observan algunas vesículas aisladas en relieve.				8°/12°									
36.0										35°		cerrada							
37.0										45°									
38.0										65°									
39.0						Rvs: Roca ríolita de coloración roja en muestra húmeda, se aprecian fenocristales de cuarzo envueltos en una matriz vítreo, el sistema de fracturamiento va de escaso a moderado, presentan ángulos que van de horizontal a subhorizontal sellados por carbonato de calcio y en ocasiones cerradas.				75°									
40.0										5°									
41.0										60°		Ca							
42.0										20°		Ca							
43.0										90°/78°		cerrada							
44.0										40°									
45.0										87°		en relieve							
46.0										87°									
47.0										87°									
48.0										85°									
49.0										82°									
50.0										78°									
51.0										37°									
52.0										10°									
53.0										20°									
54.0										60°									
55.0										35°		ca							
56.0										88°									
57.0										82°									
58.0										85°									
59.0										12°		ca							
60.0										78°									
61.0										87°		ca							
62.0										87°		ca							
63.0										86°		ca							
64.0										55°		cerrada							
65.0										10°		ca							
66.0										78°									
67.0										82°									
68.0										80°									
69.0										80°		ca							
70.0										82°									
71.0										78°		cerrada							
72.0										10°									
73.0										30°									
74.0										80°									
75.0										80°		ca							
76.0										82°									
77.0										10°									
78.0										80°									
79.0										80°		ca							
80.0										82°									
81.0										78°		cerrada							
82.0										10°									
83.0										30°									
84.0										80°									
85.0										80°		ca							
86.0										82°									
87.0										78°		cerrada							
88.0										10°									
89.0										30°									
90.0										80°									
91.0										80°		ca							
92.0										82°									
93.0										78°		cerrada							
94.0										10°									
95.0										30°									
96.0										80°									
97.0										80°		ca							
98.0										82°									
99.0										78°		cerrada							
100.0										10°									
101.0										30°									
102.0										80°									
103.0										80°		ca							
104.0										82°									
105.0										78°		cerrada							
106.0										10°									
107.0										30°									
108.0										80°									
109.0										80°		ca							
110.0										82°									
111.0										78°		cerrada							
112.0										10°									
113.0										30°									
114.0										80°									
115.0										80°		ca							
116.0										82°									
117.0										78°		cerrada							

